



**Bruna Marisa Costa
Da Rocha Barros**

**Estudo da Utilização de Ferramentas da Qualidade
no Desenvolvimento e Análise das PFMEA's na
Blaupunkt**



**Bruna Marisa Costa
Da Rocha Barros**

**Estudo da Utilização de Ferramentas da Qualidade
no Desenvolvimento e Análise das PFMEA's na
Blaupunkt**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira, Professor Associado com agregação do Departamento de Economia Gestão e Engenharia Industrial da Universidade de Aveiro

Este relatório é **confidencial**.

Toda a informação nele contida não deverá ser apresentada a terceiros. Todos os dados, metodologias, ferramentas, procedimentos são de exclusiva utilização BOSCH® e destinam-se á avaliação curricular do aluno.

Não é o mais forte da espécie que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o mais adaptável a mudanças.

Charles Darwin

O júri
Presidente

Prof^ª. Doutora Maria João Pires da Rosa
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof^ª. Doutora Maria da Conceição Fonseca
Professor auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Prof. Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Quero expressar os meus sinceros agradecimentos a um conjunto de pessoas que me ajudaram na realização desta dissertação.

Ao Prof. Carlos Ferreira, orientador da Universidade de Aveiro, pela preocupação e disponibilidade demonstrados e, acima de tudo, pela competência e experiência.

À Eng.^a Luísa Braga, orientadora da Blaupunkt Auto-Rádio, Lda., pelo apoio demonstrado ao longo de todo o trabalho.

Ao todas as pessoas do departamento de TEF 2, Eng.^{as} Anabela Brandão, Elisabete Carvalho, Maria Oliveira, Paula Martins e ao Eng.^o Miguel Machado pelo acolhimento, simpatia, disponibilidade e paciência com que esclareceram todas as dúvidas colocadas ao longo da execução do trabalho.

À *Blaupunkt* Auto-Rádio, Lda. pela oportunidade e pelas condições de trabalho proporcionadas.

Aos meus amigos e à minha família pela compreensão e apoio demonstrados durante a realização do trabalho.

A todos, o meu muito obrigada.

Bruna Barros

Palavras-chave

Sistemas de Gestão de Qualidade, FMEA, Ferramentas e Métodos de Qualidade, Integração.

Resumo

A presente dissertação é produto de um projecto que foi realizado na empresa Blaupunkt, em Braga, durante um período de nove meses, sob a orientação do Professor Carlos Ferreira e da Eng.^a Luísa Braga, no âmbito do curso de Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Aveiro. Este projecto consistiu fundamentalmente na análise e avaliação da metodologia existente na empresa, a Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA), como um método de gestão de qualidade para minimizar os riscos.

Os mais recentes Sistemas de Gestão de Qualidade trazem como ponto fundamental a abordagem por processos e visão sistemática, como por exemplo, a norma ISO 9000:2000 que cita que a organização deve ser gerida como um conjunto de processos interrelacionados. Com o objectivo de atender a cada um dos requisitos desta norma foi necessária a criação de métodos ou ferramentas da qualidade, como, por exemplo, a Análise Modal de Falhas e Efeitos, FMEA.

Um Sistema de Gestão de Qualidade com foco preventivo, como a FMEA, é essencial para eliminar a inspecção, reduzir os custos da não qualidade e atender às exigências do cliente. Infelizmente na maioria das empresas a utilização da FMEA é limitada, e muitas vezes, restrita a cumprir exigências do cliente. No entanto, esta tendência vem sendo contrariada na Blaupunkt, evidenciando o carácter preventivo e ao mesmo tempo a sua integração com outros métodos de controlo e melhoria da qualidade.

Neste trabalho de pesquisa é descrito o principal método de prevenção na Blaupunkt, a FMEA, bem como todos os métodos que interagem com esta para um melhor desempenho. Pretende-se fazer uma optimização da sistemática de elaboração da PFMEA's em Braga, através da interacção desta técnica com outras técnicas de qualidade.

O estabelecimento de um quadro explicativo da interacção entre a FMEA e outras técnicas de qualidade irá permitir a simplificação e organização do processo de elaboração, de forma a tornar-se mais consistente, menos moroso e mais completo, bem como tornar o trabalho mais perceptível para os clientes e para os restantes departamentos.

Keywords

Quality Management Systems, FMEA, tools and methods of quality, integration.

Abstract

This dissertation is the outcome of a curricular internship that took place at Blaupunkt, Braga, for nine months, under the orientation of Professor Carlos Ferreira and Engineer Luísa Braga, within the course of Master in Industrial Engineering and Management at the University of Aveiro. This project consisted primarily on analysis and evaluation of existing methodology in the company, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), as a method of quality management to minimize the risks.

The most recent Quality Management Systems bring as a fundamental point the approach by systematic processes and vision, such as the ISO 9000:2000 which cites that the organization is managed as a set of interrelated processes. In order to address each of the requirements of this standard was necessary to create methods or quality tools, such as the Failure Mode and Effects Analysis, FMEA.

A Quality Management System with preventive focus, such as FMEA, is essential to eliminate the inspection, reduce the costs of none quality and attempt to the requirements of the customer. Unfortunately the majority of companies using the FMEA are limited, and often restricted to meet requirements of the customer. However, this trend is being challenged in Blaupunkt, highlighting the preventive character, while its integration with other methods of control and quality improvement.

In this work the search is described the main method of prevention in the Blaupunkt, FMEA and all methods that interact with it for better performance. The aim is to make a systematic optimization of the preparation of the PFMEA's in Braga, through the interaction of this technique with other techniques of quality.

The establishment of an explanatory framework of interaction between the FMEA and other techniques for quality will enable the organisation and simplify the process of development in order to become more consistent, less cumbersome and more complete, and make work more visible to customers and for other departments.

Índice

Lista de Siglas e abreviaturas	xvii
1 Introdução	1
1.1 Objectivos.....	2
1.2 Organização da dissertação	2
2 Metodologia da “Failure Mode and Effects Analysis” (FMEA)	4
2.1 Breve caracterização da FMEA	4
2.1.1 Definição e Objectivos	6
2.1.2 Potencialidades e limitações	7
2.2 Diferentes tipos de FMEA's – Diferenças Metodológicas	10
2.2.1 FMEA do Sistema.....	11
2.2.2 FMEA do Design.....	11
2.2.3 FMEA do Processo.....	11
2.2.4 FMEA do Produto	11
2.3 Calendarização da FMEA.....	12
2.3.1 Quando é que a FMEA deve começar?.....	12
2.3.2 Quando é que a FMEA está completa?.....	13
2.3.3 Quanto tempo é que deve demorar a elaboração da FMEA?	13
2.3.4 O que acontece depois de a FMEA estar completa?.....	14
2.4 A equipa da FMEA	15
2.4.1 O que é uma equipa?	15
2.4.2 O que é uma equipa da FMEA?	16
2.4.3 Tamanho da equipa da FMEA.....	16
2.4.4 Membros da equipa da FMEA	17
2.4.5 Líder da equipa FMEA.....	18
2.4.6 O papel do especialista do processo	19
2.4.7 Formação da equipa da FMEA.....	19
2.4.8 O moderador	20
2.4.8.1 Funções do moderador.....	20
2.4.8.2 Princípios do moderador.....	20
2.4.8.3 Responsabilidades do moderador:.....	21
2.4.8.4 Como pode o moderador motivar a equipa?	21
2.5 Técnicas de discussão.....	22
3 Procedimento da elaboração da FMEA.....	24
3.1 O plano de trabalho da FMEA.....	24
3.2 Passo 0: Preparação	25
3.2.1 Definição de tarefas.....	25
3.2.1.1 Factores de sucesso para a qualidade da FMEA:	26
3.2.2 Preparação da FMEA	26
3.2.2.1 Preparação da reunião da FMEA.....	27
3.3 Passo 1: Análise Estrutural	29

3.3.1	Questões a responder quando se faz uma análise estrutural:.....	30
3.4	Passo 2: Análise Funcional	31
3.4.1	Questões a responder quando se faz uma análise funcional:	35
3.5	Passo 3: Análise de falhas.....	35
3.5.1	Questões para a análise de falhas:	37
3.6	Passo 4: Análise das acções tomadas.....	37
3.6.1	Prevenção da falha.....	40
3.6.1.1	Categorias de prevenção das falhas	40
3.6.2	Probabilidade de ocorrência (O)	40
3.6.3	Deteção da falha.....	41
3.6.4	Categorias da deteção da falha:	42
3.6.5	Probabilidade de deteção (D)	42
3.6.6	Avaliação do risco (S, O, D)	43
3.6.7	Número prioritário de risco (RPN).....	44
3.6.8	Definição e tratamento das características especiais	44
3.6.8.1	Características especiais são diferenciadas entre:.....	44
3.6.8.2	Características especiais são determinadas exclusivamente dentro da FMEA:.....	45
3.6.8.3	Interfaces com a FMEA	45
3.6.8.4	Acções na FMEA com características especiais:	46
3.6.8.5	Tratamento das características especiais:	47
3.6.8.6	Questões para a análise das acções tomadas:.....	48
3.7	Passo 5. Optimização.....	48
3.7.1	Planeamento/definição de acções (<i>Plan</i>)	49
3.7.2	Tratamento, verificação e implementação de acções (<i>Do</i>).....	50
3.7.3	Validação das acções (<i>Check</i>)	50
3.7.4	Determinar a necessidade de acções suplementares actualização da FMEA (<i>Act</i>)	50
3.7.4.1	Questões para a optimização:	51
3.7.5	Documentação típica da FMEA:	51
3.7.5.1	Fluxograma.....	51
3.7.5.2	Estrutura em árvore	52
3.7.5.3	Formulário da FMEA.....	53
3.7.5.4	Plano de controlo.....	54
3.7.5.5	Editor de prazos.....	55
3.7.5.6	Avaliação estatística	56
3.7.5.7	Capa.....	57
3.7.6	Arquivo da FMEA.....	57
3.7.7	Actualização, revisão e conclusão da FMEA	57
3.8	Análise e avaliação da metodologia existente na Bosch	58
4	Sobre a FMEA do processo	60
4.1	Definição da PFMEA.....	60
4.1.1	O objectivo de começar o mais cedo possível a FMEA do processo é para optimizar:.....	62
4.1.2	Algumas das preocupações da FMEA de processo:	62
4.1.3	Elementos de suporte.....	63
4.1.4	Critérios do processo.....	63

4.2	Passo a passo da análise da FMEA do processo	63
4.3	Colaboração com os clientes e com terceiros	64
4.3.1	FMEA em conjunto com os Clientes.....	64
4.3.2	FMEA do Produto: Excertos dos clientes	64
4.3.3	Apresentação da FMEA aos clientes.....	65
4.3.4	Colaboração com fornecedores.....	65
4.3.5	Procedimento para a FMEA do produto	66
4.3.6	Procedimento para a FMEA do processo	66
4.3.7	Dados da FMEA fornecidos pela <i>Bosch</i> como cliente	66
4.3.8	Colaboração com prestadores de serviços externos (moderadores externos de FMEA)	66
5	Breve referência às normas ISO 9000 e QS 9000.....	68
5.1	Descrição das normas	69
5.1.1	Normas ISO 9000	69
5.1.2	Análise crítica às Auditorias.....	71
5.1.3	Norma QS – 9000.....	73
6	Análise da FMEA com outras Técnicas	75
6.1	Introdução	75
6.2	Plano de Controlo (PQP).....	75
6.2.1	No plano de controlo constam em geral as seguintes informações:.....	76
6.2.2	Vantagens da implementação e desenvolvimento de um plano de controlo:	77
6.2.3	Interacção entre o PQP e a FMEA	77
6.3	Métodos de Resolução de Problemas.....	78
6.3.1	Metodologia 8D.....	78
6.3.2	Folha de Resolução de Problemas BPS.....	82
6.3.3	Interacção entre os 8D's e a FMEA	83
6.4	Controlo Estatístico do processo (SPC)	84
6.4.1	Metodologia para o seu desenvolvimento e a sua utilização.....	88
6.4.2	Interacção entre o SPC e a FMEA.....	89
6.5	Inspecções e auditorias de produto/processo	90
6.5.1	Interacção FMEA, Inspecções, Auditoria de Produto/Processo	91
6.6	Análise da árvore de falhas (FTA).....	92
6.6.1	Metodologia	92
6.6.2	Exemplos de FTA 's:.....	94
6.6.3	Procedimento de aplicação	95
6.6.4	Regras complementares para uma correcta construção:	97
6.6.5	Vantagens e desvantagens da FTA:.....	97
6.6.6	Interacção entre a FTA e a FMEA	98
6.7	Diagrama de causa e efeito	99
6.7.1	Condições prévias para a sua aplicação	99
6.7.2	Exemplos de diagramas de causa-efeito.....	100
6.7.3	Razões para utilização de diagramas de causa efeito.....	102

6.7.4	Interacção entre o diagrama de causa – efeito e a FMEA.....	103
6.8	O método <i>Brainstorming</i>	103
6.8.1	Procedimento de aplicação:	104
6.9	O método <i>Brainwriting</i>.....	105
6.9.1	Procedimento de aplicação:	106
6.9.2	Composição do grupo.....	106
6.9.3	Interacção entre o <i>Brainstorming</i> e/ou <i>Brainwriting</i> e a FMEA	107
6.10	“Quality Function Deployment” (QFD).....	108
6.10.1	Metodologia da QFD.....	111
6.10.2	Nomenclatura e representação gráfica da “Casa da Qualidade”.....	113
6.10.3	Procedimento de aplicação	113
6.10.4	Regras complementares para uma correcta construção	116
6.10.5	Benefícios da QFD:	116
6.10.6	Análise crítica à metodologia “QFD”	116
6.10.7	Interacção entre o QFD e a FMEA	117
6.11	Fluxograma.....	118
6.11.1	Procedimento de construção:	118
6.11.2	A utilização desta técnica tem várias vantagens:	119
6.11.3	Interacção entre um fluxograma e a FMEA	120
7	Conclusões	121
7.1	Propostas para trabalhos futuros.....	123
	Bibliografia.....	124
	Referências web	128
	Anexos	129
	Anexo 1: Lista de verificação de requisitos	130
	Anexo 2: Figuras explicativas da correlação entre o diagrama de blocos, o fluxograma e a estrutura do sistema	130
	Anexo 3: Exemplo de formulários de uma FMEA e como deve ser elaborado.....	132
	Anexo 4: Exemplo de uma capa da FMEA.....	133
	Anexo 5: Exemplo de vários formulários da FMEA	134
	Anexo 6: Definição do formulário da FMEA e uma breve explicação do seu preenchimento (no caso da Bosch)	135
	Anexo 7:Folha de resolução de problemas	139
	Anexo 8:Aplicação da folha de resolução de problemas (no caso da Bosch)	140
	Anexo 9: Quadro explicativo da interacção das diversas ferramentas de qualidade.....	149

Índice de figuras

Figura 1 – Visualização de um formulário da FMEA e identificação dos respectivos campos a serem preenchidos (Bosch, 2006).....	5
Figura 2 – Relação entre os quatro tipos de FMEA (Adaptado de Stamatis, 1995)	10
Figura 3 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo 0	25
Figura 4 – Exemplo de um diagrama de blocos (Bosch, 2006).....	26
Figura 5 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo1	29
Figura 6 – Exemplo esquemático de um sistema (Bosch, 2006)	29
Figura 7 – Visualização do nível de detalhe do sistema (Adaptado da Bosch, 2006)	30
Figura 8 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo 2	31
Figura 9 – Definição esquemática da função ideal (Adaptado da Bosch, 2006)	32
Figura 10 – Definição esquemática da função real (Adaptado da Bosch, 2006)	32
Figura 11 – Visualização do nível de detalhe desde a raiz do elemento até á causa raiz (Adaptado da Bosch, 2006) Rede Funcional (“Function network”).....	33
Figura 12 – Exemplo de uma rede funcional (Adaptado da Bosch, 2006)	34
Figura 13 – Exemplo de uma rede funcional do software IQRM.....	34
Figura 14 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo 3	35
Figura 15 – Definição da falha da função (Adaptado da Bosch, 2006)	36
Figura 16 – Representação de uma <i>failure network</i> (Adaptado da Bosch, 2006)	37
Figura 17 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo 4	38
Figura 18 – Determinação das características especiais (Bosch, 2006).....	46
Figura 19 – Marcação das características especiais (Bosch, 2007)	46
Figura 20 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo 5	48
Figura 21 – Ciclo PDCA ou ciclo de Deming (1981)	49
Figura 22 – Paleta de símbolos do fluxograma do IQRM.....	51
Figura 23 – Exemplo de um <i>Process Flow Diagram</i> do IQRM.....	52
Figura 24 – Exemplo de uma estrutura em árvore do software IQRM	53
Figura 25 – Exemplo de um formulário da FMEA do IQRM	54
Figura 26 – Exemplo de um plano de controlo do IQRM	55
Figura 27 – Exemplo de um <i>deadline editor</i> do IQRM	55
Figura 28 – Exemplo de <i>statistical editors</i> do IQRM	56
Figura 29 – Visão geral das actividades típicas de uma auditoria (ISO 19011:2002 – “Guidelines for quality and/or environmental management systems auditing”, 2002).....	71
Figura 30 – Fluxograma do plano de controlo da qualidade (Juran, 2000)	76
Figura 31 – As 8 Disciplinas da Metodologia 8D (Bosch, 2006).....	79

Figura 32 – Processo Triangular de Resolução do Problema (Bosch, 2006)	80
Figura 33 – Resolução de problemas (Bosch, 2006)	83
Figura 34 – Controlo processos (QS9000, 1997)	85
Figura 35 – Exemplo de uma carta de controlo	86
Figura 36 – Fundamentos de Capabilidade (Camargo e Tavares, 2002).....	87
Figura 37 – FTA aplicado a uma falha de um motor eléctrico.....	94
Figura 38 – FTA aplicado a uma falha de um motor eléctrico com a aplicação de elementos lógicos.....	94
Figura 39 – Correspondência entre a simbologia e a álgebra de Boole.....	96
Figura 40 – Exemplo de uma árvore de falhas	97
Figura 41 – Exemplo de um sistema de árvore de falhas convertido num sistema físico.	97
Figura 42 – Condições necessárias para a aplicação do diagrama de causa – efeito	99
Figura 43 – Representação esquemática do diagrama de causa – efeito e os seus componentes.....	100
Figura 44 – Diagrama de causa – efeito de um desempenho desejado	101
Figura 45 – Diagrama de causa – efeito de um problema	102
Figura 46 – Exemplo de um <i>brainwriting</i>	105
Figura 47 – Verificação da importância de entender os requisitos do cliente.....	109
Figura 48 – Etapas de abordagem de uma QFD	110
Figura 49 – As 4 fases da QFD	112
Figura 50 – A Casa da Qualidade	113
Figura 51 – Casa da Qualidade (Cohen, 1995)	115

Índice de tabelas

Tabela 1 – Atribuição do tipo de FMEA e quando se pode considerar completa (Adaptado da Bosch, 2006)	13
Tabela 2 – Potenciais membros da equipa da FMEA do processo ou produto (Adaptado da Bosch, 2006)	18
Tabela 3 – Algumas técnicas de discussão para pessoas difíceis (Adaptado Bosch, 2006)	23
Tabela 4 – Plano de trabalho da FMEA (Adaptado da Bosch, 2006)	24
Tabela 5 – Atribuição de tarefas e responsabilidades (Adaptado da Bosch, 2006)	25
Tabela 6 – Critérios de classificação para a severidade do efeito da falha para a FMEA (Bosch, 2006)	39
Tabela 7 – Critérios de classificação para a probabilidade de ocorrência para a FMEA (Bosch, 2006)	41
Tabela 8 – Critérios de classificação para a probabilidade e detecção para a FMEA (Bosch, 2006)	43
Tabela 9 – Simbologia da FTA	93
Tabela 10 – Símbolos dos Eventos tradicionais da FTA	93
Tabela 11 – Interação entre a FTA e a FMEA	98

Lista de Siglas e abreviaturas

- BPS** – Bosch Production System;
- CIP** – Continuous Improvement Process;
- CPK** – Índice de capacidade de processo;
- DFMEA** – Design FMEA;
- Defeitos 0Km** – Defeito surge no cliente (Fabricante de automóveis), o defeito ainda não chegou ao cliente final;
- Defeitos de campo** – Defeito detectado pelo consumidor final durante a utilização do produto;
- Failure net** – Interligação entre o modo de falha, o efeito e a causa;
- IFC** – Instrução de fabrico e controlo;
- ISO** – International Organization Standardization;
- IQRM** – Software desenvolvido pela Apis para a FMEA
- Failure network** – Interacção entre o modo de falha, os efeitos e as causas;
- FMEA** - Failure Mode and Effects Analysis;
- FTA** – Fault Tree Analysis;
- PDCA** – Plan-Do-Check-Act;
- PFMEA** – Process FMEA;
- Poka-Yoke** – Sistema mecânico que evita a falha;
- PPM** – Partes Por Milhão;
- PQP** – Process Quality Plan;
- QA** – Quality Assessment;
- QFD** – Quality Function Deployment;
- QSR** - Quality System Requirements;
- RPN** – Risk Priority Number;
- S, O, D** – Severity, Occurrence, Detection;
- SFMEA** -System FMEA;
- SPC** – Statistic Process Control;
- TEF** – Departamento de Tecnologias de Produção;
- TQM** – Total quality management;
- 8 D** - Problems Resolution.

1 Introdução

O desenvolvimento industrial verificado na segunda metade do Séc. XX originou uma reforma geral dos princípios e dos métodos de gestão de qualidade das empresas. Devido ao aparecimento de novas técnicas e ao aumento da concorrência internacional, a gestão da qualidade, fazendo parte integrante da gestão de uma empresa, tornou-se um elemento determinante na estratégia de desenvolvimento empresarial, contribuindo para o aumento da competitividade, garantindo a melhoria contínua da qualidade e produtividade.

O grau de exigência, actual, dos clientes é elevado e qualquer defeito no produto leva á insatisfação do cliente, o que pode favorecer a concorrência. É, portanto, imperiosa a utilização de Sistemas de Gestão de Qualidade eficientes, capazes de garantir que os produtos e serviços satisfaçam, continuamente, as necessidades dos clientes.

A Análise Modal de Falhas e Efeitos, FMEA, ("Failure Mode and Effect Analysis"), é uma ferramenta de gestão da qualidade com foco preventivo, essencial para eliminar a inspecção, reduzir os custos de não qualidade e atender às exigências do cliente. A sua aplicação nos processos, *design*, produtos e sistema previne potenciais modos de falha, revelando-se uma ferramenta de gestão da qualidade fundamental, para todas as organizações que têm como meta alcançar os zero defeitos.

Neste trabalho são descritos os principais métodos que suportam os actuais Sistemas de Gestão de Qualidade, e é analisada criticamente a sua actual aplicação, apontando falhas e dificuldades em relação à integração com outros métodos e em relação ao foco preventivo.

1.1 Objectivos

Esta dissertação delimita e descreve o trabalho realizado pela autora como estagiária na Empresa *Blaupunkt*, no departamento de TEF (Tecnologias de Produção), na secção TEF 2, no decorrer do projecto do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Aveiro, com a duração de nove meses.

O projecto efectuou-se na Área de Qualidade, mais concretamente, na metodologia da FMEA da responsabilidade da secção de TEF 2, tendo como principais objectivos:

- a) Descrever o método (orientação) de uma forma que promova a uniformização do procedimento na criação das PFMEA's;
- b) Descrever, utilizando a abordagem de processos, os métodos da gestão da qualidade destacados nesta pesquisa;
- c) Identificar, através da análise da FMEA e depois da análise dos vários métodos de qualidade os principais problemas na integração dos actuais métodos no Sistema de Gestão da Qualidade;
- d) Propor uma forma de facilitar a integração entre os métodos do Sistema da Qualidade.

1.2 Organização da dissertação

Em termos da sua constituição, esta dissertação encontra-se estruturada fundamentalmente em sete capítulos:

Ao longo do primeiro capítulo é feita a introdução, uma breve descrição dos objectivos e é descrita a organização da dissertação.

No segundo capítulo é feita uma breve caracterização da Análise Modal de Falhas e Efeitos. Também são descritos os diferentes tipos de FMEA's, o processo usado na FMEA, a condução e actualização da FMEA. Aborda também os aspectos principais da equipa e mostra como esta afecta positivamente ou negativamente a elaboração da FMEA, bem como, descreve todas as funções e responsabilidades dos membros da equipa e do moderador.

No terceiro capítulo é abordado especificamente o procedimento da elaboração da FMEA na *Blaupunkt*. O plano de trabalho e todos os passos do procedimento que devem ser seguidos para a elaboração da FMEA, para podermos tirar todo o partido desta técnica. Apresenta-se a documentação típica da FMEA e a análise crítica á

metodologia existente na *Blaupunkt*.

No quarto capítulo é explicado o que é a FMEA do processo, as etapas do planeamento do processo e as operações para produtos até à entrega ao cliente, pois foi principalmente, sobre esta técnica que recaiu o meu estágio na *Blaupunkt*.

Apresenta-se também a relação entre este método de qualidade com os clientes e com terceiros (fornecedores e prestadores de serviços externos).

O quinto capítulo pretende descrever a aplicação da FMEA nas seguintes normas: ISO 9000 (mais detalhadamente ISO/TS 16949 e a ISO 19011) e a QS 9000. Começamos por descrever as normas, fazer uma análise crítica as auditorias, e fazer os enquadramento de tudo o que falamos anteriormente e a FMEA.

No sexto capítulo aborda-se a interacção entre a FMEA e outras técnicas de qualidade como o PQP, 8D, CEP, Inspeções e Auditorias do produto/processo, FTA, diagrama de causa – efeito, *brainstorm/brainwriting*, QFD e o fluxograma. Vamos começar por compreender estas técnicas de qualidade, o que são, como funcionam, quais os seus objectivos e como interagem ou deveriam interagir com a FMEA, para esta alcançar toda a sua potencialidade.

No sétimo capítulo são apresentadas as considerações finais contemplando uma reflexão global, no que respeita às temáticas abordadas e apresentando uma auto-reflexão de todo este processo. Também são enumeradas algumas propostas de considerações futuras, referentes ao tema, que de algum modo possam contribuir para melhorar a realização destes estudos.

2 Metodologia da “Failure Mode and Effects Analysis” (FMEA)

2.1 Breve caracterização da FMEA

A Análise Modal de Falhas e Efeitos (FMEA) é uma técnica de engenharia utilizada para definir, identificar e eliminar conhecidos e/ou potenciais modos de falha, problemas, erros provenientes do sistema, design, processo e/ou do produto antes que estes cheguem ao consumidor (Stamatis, 1995). FMEA's são centradas na prevenção de defeitos, no aumento da segurança e na satisfação do consumidor. É um método por excelência quando a visão da organização se rege pelo “mais vale prevenir do que remediar”.

Qualquer FMEA conduzida apropriadamente vai providenciar à empresa informação útil que poderá reduzir o risco de falhas, tanto no sistema, design, processo e produto. Isto acontece porque esta técnica é uma técnica lógica e progressiva de análise modal de falhas e efeitos que permite que a tarefa seja efectuada da forma mais eficiente.

A FMEA é uma das mais importantes acções preventivas quando é aplicada o mais cedo possível no sistema, design, processo ou produto para prevenir falhas e erros de acontecer e atingirem o cliente (Kececioglu, 1991). Idealmente as FMEA's são desenvolvidas no design do produto ou no desenvolvimento dos passos do processo, embora a condução de uma FMEA de produtos já existentes possa também trazer altos benefícios (Macdermott, Mikulak, Beauregard, 1996). Esta técnica preventiva providencia à empresa, uma maneira metódica de estudo das causas e efeitos da falha antes que o sistema, design, processo ou produto se finalizem. A FMEA é composta essencialmente pelos seguintes aspectos:

Definição do objectivo e função (constituição da equipa: o conhecimento e experiência dos “*experts*” de todas as áreas afectadas são fundamentais).

Identificação de falhas potenciais, em que o efeito dessa falha é a consequência dessa mesma falha, que será identificado numa fase posterior ou pelo operador, ou pelo controlo de qualidade ou em último caso pelo cliente final.

Dar prioridade às potenciais falhas de acordo com o seu risco; algumas causas têm maior probabilidade de acontecer que outras. Também a severidade dos efeitos da falha pode variar de menor para a extremamente grave. Em alguns casos é fácil detectar essa falha, enquanto noutros só é possível com a avaria no cliente.

Seleccção e implementação de acções correctivas de forma a reduzir ou eliminar a sua ocorrência.

Observação e aprendizagem, é importante que sejam actualizadas de acordo com as novas experiências com o produto ou com o processo. É um documento vivo e não um mero exercício no papel.

Documentação do processo, fornece a possibilidade de armazenar e disponibilizar dados relativos às falhas potenciais do processo ou produto durante a sua vida.

Essencialmente, a FMEA providencia um método sistemático de exame de todas as formas nas quais uma falha possa ocorrer, como podemos verificar na figura seguinte.

BOSCH			System-FMEA							Page: Department: FMEA-Number: Date:			
Quality Assurance			Product: Number:										
No.	Component or Process	Function	Failure modes	Failure effects	C	Failure causes	Failure prevention	Failure detection	S	O	D	RPN	Actions R/I:
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
	Quais os componentes do processo a serem analisados?	Quais as funções a serem requeridas?	Como pode a função ser afectada negativamente?	Quais as consequências do modo de falha?		Quais as causas possíveis do modo de falha?	Quais as acções introduzidas para prevenir o modo de falha?	Quais as acções introduzidas para detectar o modo de falha?	Quanto mau é?	Quanto bom é o método de detecção?	Quanto vezes pode ocorrer?	S x O x D?	O que é que pode ser feito para reduzir o risco? (S, O, D, RPN) Responsável? Prazo?

Figura 1 – Visualização de um formulário da FMEA e identificação dos respectivos campos a serem preenchidos (Bosch, 2006)

Para cada falha, é feita uma estimativa sobre o seu efeito no sistema final, da sua severidade, ocorrência e detecção.

A FMEA vai identificar acções correctivas requeridas para prevenir que as falhas não cheguem ao cliente, ao mesmo tempo que asseguram a maior durabilidade, qualidade e viabilidade possível do produto ou serviço.

A FMEA deveria ser parte integrante do sistema de qualidade, pois embora esta técnica possa ser utilizada individualmente, só com o suporte de outros sistemas é que a empresa poderá tirar o máximo benefício desta.

2.1.1 Definição e Objectivos

A Análise Modal de Falhas e Efeitos foi desenvolvida pelo exército norte-americano; trata-se do procedimento militar MIL-P-1929, datado de 9 de Novembro de 1949, intitulado “Procedimento para desempenhar um modo de falha, seus efeitos e análise da sua criticidade”. Usada como técnica de avaliação da fiabilidade para determinar o efeito das falhas num sistema ou num equipamento. As falhas eram classificadas de acordo com o seu impacto no sucesso da missão e na segurança do pessoal e equipamento.

Nos anos 60 começou a ser usado pela indústria aeroespacial e pela tecnologia nuclear e mais tarde pela indústria automóvel.

Hoje em dia a FMEA é uma ferramenta importante para o sistema de qualidade das empresas, porque a necessidade de melhoria contínua na qualidade do produto, viabilidade e segurança do produto, requisitos regulamentais, implicações legais e acima de tudo o desejo que todas as empresas têm de marcarem a sua posição no mercado, aumentando a satisfação do cliente, levaram à implementação desta técnica. Estas questões requerem que os fabricantes façam análises de risco que identifiquem e minimizem as falhas do sistema durante o ciclo de vida do produto.

A Análise Modal de Falhas e Efeitos é uma técnica preventiva de potenciais modos de falha que é centrada nos seguintes objectivos:

- Identificar potenciais modos de falha e classificar os seus efeitos por ordem de importância;
- Determinar os efeitos e a severidade desses modos de falha;
- Identificar as causas e a probabilidade de ocorrência dos modos de falha;
- Quantificar os riscos associados aos modos de falha e fornecer uma base para uma alocação eficaz dos recursos necessários para a redução dos riscos;
- Identificar características especiais;
- Auxiliar os engenheiros na eliminação de problemas do sistema, design, produto e processo prevenindo a sua ocorrência;
- Contribuir para a elaboração da documentação dessa identificação, avaliação e das actividades correctivas, para que a qualidade do produto ou serviço seja melhorada e validada.

Esta técnica deve ser utilizada o mais cedo possível no processo de desenvolvimento, quando é relativamente fácil e mais barato fazer mudanças. O

resultado é um processo mais robusto e a redução ou eliminação das alterações correctivas depois de o processo estar implementado, evitando crises de alterações tardias.

2.1.2 Potencialidades e limitações

A FMEA é um método para análise de riscos devido a falhas únicas. Os riscos individuais são quantificados para identificarmos as nossas prioridades, sendo que o maior benefício só é obtido quando a FMEA é criada em paralelo com o desenvolvimento do produto/processo e o mais cedo possível. O importante é implementar os resultados da FMEA no processo de desenvolvimento do produto atempadamente para evitar desperdícios de recursos.

A probabilidade de ocorrência e detecção na FMEA são normalmente baseados na experiência dos moderadores. As acções devem ser verificadas depois de serem implementadas.

A FMEA é criada por equipas multidisciplinares de especialistas (das diversas áreas) com experiência no assunto em análise e que entendem as necessidades do cliente. Pode incluir elementos externos, por exemplo fornecedores e clientes. Para mais informação ver o capítulo 4.

Apresentam-se, a seguir, algumas vantagens da condução de uma FMEA:

Assegura que os potenciais modos de falha e os seus efeitos no sistema foram identificados e avaliados, e consequentemente ajuda a identificar erros e a definir acções correctivas e/ou preventivas;

Providencia os meios para a revisão do produto e do processo de design;

Ajuda a identificar as características críticas de produtos e processos;

Melhora a produtividade, qualidade, segurança, eficiência e fiabilidade;

Ajuda a determinar a necessidade de seleccionar materiais alternativos, aparelhos, componentes e tarefas;

Reduz a necessidade de actividades de inspecção e controlo dos processos;

Ajuda no estabelecimento de uma cultura proactiva para a resolução de problemas;

Reduz o tempo de desenvolvimento e os seus custos;

A produção e a montagem são mais económicos devido a um desenho do processo robusto, estável e capaz ou usando *Poka – Yoke*;

As consequências das alterações posteriores do produto são minimizadas e os custos reduzidos, bem como os custos de falhas internas e externas;

Pode ser activada sempre que a produção esteja com problemas;

Capta e conserva o conhecimento do produto e do processo dentro da organização;

Provas documentadas estão previstas para casos de responsabilidade do produto;

Documentos da FMEA fornecem a validação e actualização do conhecimento base da empresa;

Providencia uma forma de comunicar com os diferentes departamentos;

Ajuda a aumentar a satisfação dos clientes;

Melhora a imagem da empresa e a sua competitividade;

Enquanto os engenheiros sempre analisaram potenciais modos de falha para produtos e processos, o processo da FMEA uniformiza a abordagem e estabelece uma linguagem comum que pode ser utilizada dentro e entre empresas;

Pode ser utilizada por pessoas com formação técnica ou não técnica dos vários níveis;

A troca de informação entre todos os membros do projecto, produto e especialistas de processo ocorre numa fase precoce;

O sistema de compreensão dos participantes é melhorado;

As acções são sistematicamente monitorizadas até implementação e verificação.

A FMEA pressupõe os seguintes pontos (não os substitui):

Identificação correcta e completa dos requisitos;

Posicionamento adequado dos componentes, subconjuntos e elementos de design para cumprir as tarefas comuns;

Óptimo design de forma a satisfazer os requisitos;

Óptimo processo de produção de forma a satisfazer os requisitos.

A utilização da FMEA pode ser desvantajosa pelas seguintes razões:

A análise de um sistema complexo que tem múltiplas funções com um número enorme de componentes pode ser entediante e difícil;

Os compostos dos efeitos dos modos de falha não podem ser analisados;

A incorporação de todos os possíveis factores que influenciam o produto/processo, tais como erros humanos e impactos ambientais, podem tornar a análise lenta e requer o conhecimento total das características e desempenho dos diferentes sistemas;

A conclusão bem sucedida exige conhecimentos, experiência e uma boa equipa com as competências necessárias;

Lidar com as redundâncias das datas pode ser difícil;

Pode ser dispendiosa e morosa.

Aspectos Jurídicos da FMEA

O correcto preenchimento da FMEA e a correcta implementação das suas saídas são parte do tráfego geral de responsabilidade e segurança¹ da indústria automobilística. Violações deste tráfego geral de responsabilidade e segurança tornam o fabricante responsável pela lei civil (viabilidade do produto), e se é culpa do pessoal envolvido, então estes colaboradores são responsáveis, de acordo com o direito penal (negligência, lesões corporais / morte). A FMEA deve ser clara, factualmente correcta e completa.

¹ Qualquer pessoa que cria ou utiliza uma fonte de perigo, ou controla um item que poderia ser perigoso para terceiros, ou expõe ou introduz elementos perigosos para o tráfego público, é responsável pela segurança tráfego geral.

2.2 Diferentes tipos de FMEA's – Diferenças Metodológicas

A FMEA é uma ferramenta para definir, identificar e eliminar falhas, problemas ou erros potenciais ou conhecidos do sistema, projecto, processo, e / ou produto antes que ele chegue ao utilizador (Stamatis, 1995). A este objectivo está associada a pergunta “como se identifica uma falha?”. No entanto, essa pergunta pode fazer despoletar outra, “O que é falha?”. Falha é definida, segundo Stamatis (1995), como sendo o problema, dificuldade, obstáculo. É a incapacidade do sistema, design, processo ou produto, executar o que é proposto.

Do ponto de vista de Stamatis (1995), a FMEA fornece um método sistemático de examinar todas as formas possíveis pelas quais a falha pode ocorrer. A cada falha está associada uma avaliação, baseada numa estimativa para os seus efeitos no sistema total, design, processo, produto. Essa estimativa é a severidade, ocorrência e detecção.

Existem quatro tipos de FMEA, do sistema, do design, do processo e do produto/serviço (Figura 2).

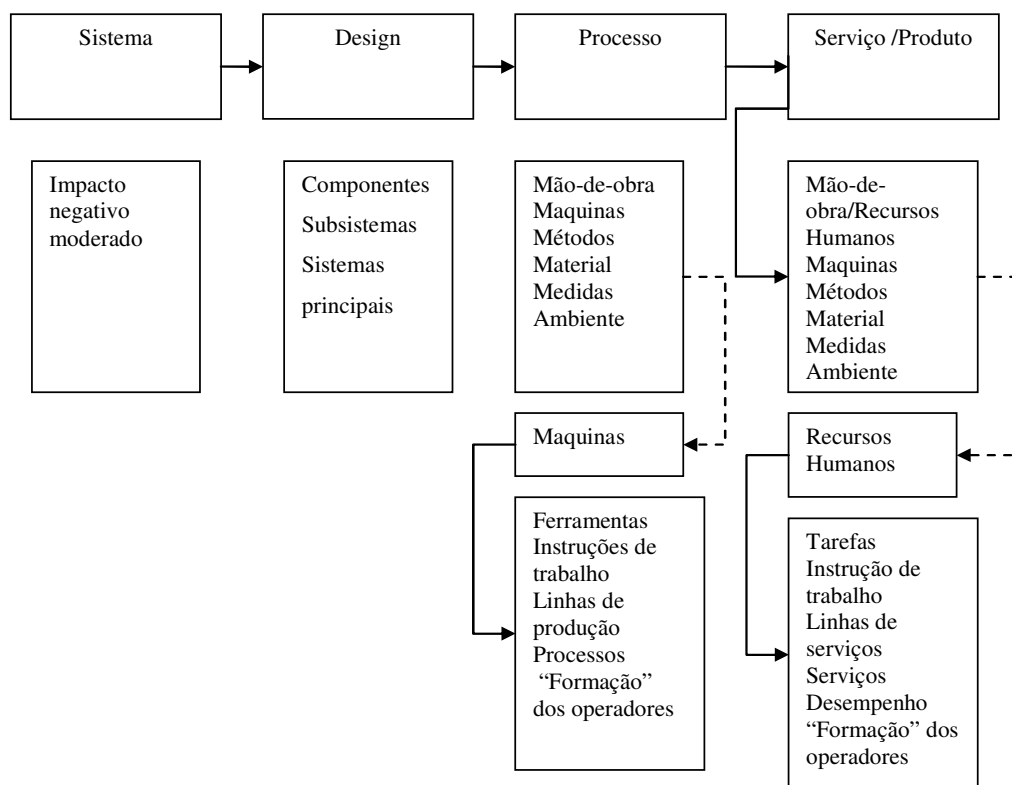


Figura 2 – Relação entre os quatro tipos de FMEA (Adaptado de Stamatis, 1995)

2.2.1 FMEA do Sistema

Um sistema é um conjunto organizado de peças ou subsistemas para desempenhar uma determinada função. A FMEA do Sistema é realizada muito cedo no processo de desenvolvimento e analisa a correcta inter – relação de um sistema de componentes e suas conexões, com o objectivo de evitar defeitos na selecção do sistema, *layouts* e riscos de campo.

2.2.2 FMEA do Design

Segundo Stamatis (1995) a FMEA do design focaliza os modos de falha causados por deficiências no projecto, como o incumprimento dos objectivos definidos para cada uma das suas características, falta de capacidade do projecto, no que se refere a número de máquinas, formação dos operadores, tipo de máquinas a adoptar, entre outros. Para elaborar uma FMEA de design é necessário recolher informação sobre os requisitos do cliente, procedimentos, desempenho dos concorrentes, normas técnicas e de engenharia, capacidade de produção.

2.2.3 FMEA do Processo

Um processo de produção é uma sequência organizada de operações com a finalidade de produzir o produto. A FMEA do processo analisa todos os passos do planeamento do processo e operações para os produtos até à entrega ao consumidor. Potenciais desvios são analisados e são definidas acções e características do produto para um processo seguro.

2.2.4 FMEA do Produto

A FMEA do produto examina as especificações do projecto e características do produto. Potenciais desvios dos requisitos são analisados e acções preventivas para garantir esses requisitos são definidas. A FMEA do produto analisa falhas de sistemas ou subsistemas (produtos, componentes) e as suas interfaces.

Stamatis (1995) afirma que, a FMEA do produto define necessidades de alterações no projecto do produto, estabelece prioridades para as acções de melhoria,

auxilia na identificação de características críticas e na avaliação dos requisitos e alternativas do projecto.

Para se obter bons resultados finais, eliminar modos de falha ou reduzir os seus riscos, tem de se atender a alguns pré – requisitos:

Entender as necessidades do cliente;

Desenvolver e avaliar conceitos dos projectos e processos baseados no ponto anterior nas estratégias do negócio;

Criar uma equipa multidisciplinar de diferentes departamentos;

Definir o âmbito e objectivos do projecto para a FMEA.

Do ponto de vista de Stamatis (1995), a FMEA fornece um método sistemático de examinar todas as formas possíveis pelas quais a falha pode ocorrer. A cada falha está associada uma avaliação, baseada numa estimativa para os seus efeitos no sistema total, design, processo, produto.

2.3 Calendarização da FMEA

2.3.1 Quando é que a FMEA deve começar?

A FMEA deve ser utilizada o mais cedo possível, e deve ser criada ao mesmo tempo que os produtos e processos estão a ser desenvolvidos. A FMEA deve começar mal tenhamos alguma informação preliminar, pois alguns sistemas podem ser desenvolvidos a partir daí, e se estamos à espera de toda a informação nunca mais começamos.

A elaboração da FMEA deveria começar:

Quando os novos sistemas, designs, produtos, processos ou serviços são concebidos;

Quando sistemas, designs, produtos, processos ou serviços sofrem alterações;

Quando novas aplicações são descobertas para as condições já existentes dos sistemas, designs, produtos, processos ou serviços;

Quando são implementadas novas melhorias nos sistemas, designs, produtos, processos ou serviços.

A FMEA é uma técnica dinâmica com origem na filosofia da melhoria contínua. Por causa disso, a partir do momento que a FMEA começa, ela torna-se um documento vivo que nunca é completamente fechado/acabado.

2.3.2 Quando é que a FMEA está completa?

A FMEA está completa apenas quando o sistema, design, processo, produto ou serviço são considerados acabados, ou seja deixaram-se de produzir. A seguinte tabela mostra quando é que podemos considerar a FMEA completa.

Tipo de FMEA	Quando está completa?
FMEA do sistema	Quando todo o hardware está definido e quando o design é declarado "congelado"
FMEA do design	Quando se marca a data da primeira produção
FMEA do processo	Quando todas as operações foram identificadas e avaliadas e quando todas as características críticas foram endereçados para o plano de controlo
FMEA do serviço	Quando todas as tarefas foram identificadas e avaliadas e quando todas as características críticas foram endereçados para o plano de controlo

**Tabela 1 – Atribuição do tipo de FMEA e quando se pode considerar completa
(Adaptado da Bosch, 2006)**

A conclusão da FMEA está prevista na calendarização do projecto; dependendo da categoria do projecto a calendarização pode ser diferente.

A FMEA pode ser reaberta e reavaliada a qualquer momento desde que se justifique.

A FMEA deve ser mantida e guardada enquanto o produto se encontra em produção e deve estar disponível durante todo o ciclo de produção.

2.3.3 Quanto tempo é que deve demorar a elaboração da FMEA?

A elaboração da FMEA é muito morosa, mas se se avaliarem todas as alternativas possíveis compensa. Não existe um tempo predeterminado da duração da FMEA; o tempo de duração é diferente de caso para caso, depende dos objectivos e da complexidade do projecto que temos em mãos.

2.3.4 O que acontece depois de a FMEA estar completa?

Geralmente existem sete passos que a equipa deve seguir (Stamatis 1995):

1. Revisão da FMEA:

Certificar que o processo, função estão correctos e que os objectivos foram alcançados;

Garantir que todas as acções foram fechadas, ou seja implementadas e validadas.

2. Destacar as áreas de alto risco:

Uma inspecção visual às colunas das características especiais, da severidade, do Risk Priority Number (RPN) vai permitir identificar rapidamente as áreas de alto risco.

3. Identificar as características principais, críticas e mais significativas:

Uma inspecção visual ao RPN deve identificar logo as características principais;

Ter a certeza que existe uma correlação entre os efeitos do modo de falha e a sua severidade;

Rever o RPN com cuidado, pois são os valores do RPN que vão definir a necessidade de criar ou não uma acção.

4. Garantir que o plano de controlo existe e garantir que está a ser seguido:

Garantir que todas as características principais, críticas e mais significativas têm um plano documentado para o controlo, melhoria e para lidar com as mudanças;

O plano de controlo deve servir para monitorizar todo o processo.

5. Conduzir estudos de capacidade:

Depois de o controlo estatístico ter sido estabelecido, deve ser calculada uma potencial capacidade.

6. Trabalhar no processo que tenha um índice de capacidade do processo (Cpk) menor ou igual a 1.33:

Este ponto serve para continuar a melhorar o processo e para eliminar ou reduzir a variação.

7. Trabalhar no processo que tenha um Cpk maior ou igual a 1.33

Este ponto serve para reduzir ou eliminar a variação.

2.4 A equipa da FMEA

2.4.1 O que é uma equipa?

Uma equipa é um grupo de pessoas que se encontram regularmente para alcançar um objectivo em comum. Também é definida como um pequeno grupo de pessoas com habilidades complementares, que trabalham juntas com o fim de atingir um propósito comum; pelo qual se consideram colectivamente responsáveis; é um grupo com um funcionamento qualificado, que compreende os seus objectivos e está incentivado em alcançá-los, de forma compartilhada. A comunicação entre os membros é verdadeira, opiniões divergentes são estimuladas. A confiança é grande, assumem-se riscos. As habilidades complementares dos membros possibilitam alcançar resultados, os objectivos compartilhados determinam seu propósito e direcção. Respeito, mente aberta e cooperação são elevados. A equipa investe constantemente no seu crescimento.

As palavras-chave das novas abordagens ao trabalho em equipa são a delegação de poder (*empowerment*), a participação e o desenvolvimento.

Wisinski (1994) relaciona os seguintes elementos da dinâmica de uma equipa, que interage e pretende alcançar os objectivos:

1. Participação: deve haver uma participação equilibrada, não havendo uma pessoa dominante, nem ausente; deve haver equilíbrio;
2. Vender ideias: a responsabilidade de cada membro da equipa é preparar as suas ideias antecipadamente e apresentá-las à equipa de forma lógica e equilibrada, possibilitando uma contribuição efectiva;
3. Renúncia: este é o elemento mais importante no relacionamento da equipa. Quando os membros conseguem renunciar uma posição pessoal em prol do grupo, todos saem a ganhar;
4. Avaliação: saber avaliar os resultados alcançados pela equipa ao fim de um período (de um trabalho ou de um projecto), procurando eliminar os pontos fracos e seleccionar as alternativas que apresentem os melhores resultados;
5. Relacionamento: todos são responsáveis pelo relacionamento quando são membros de uma equipa. Se houver um conflito pessoal, deve ser resolvido pelas partes o mais rápido possível, pois um conflito no grupo prejudica o todo e, muitas vezes, impede a realização proveitosa das tarefas;

6. Realização das tarefas: é de extrema importância que todos estejam conscientes da sua responsabilidade em relação à realização das tarefas que cabem ao grupo. Num relacionamento interdependente, a falha de um membro pode atrasar toda a equipa.

2.4.2 O que é uma equipa da FMEA?

As FMEA's são criadas por equipas interdisciplinares constituídas por especialistas de diferentes departamentos funcionais, suportadas pela metodologia especializada do moderador. A proposta para uma equipa da FMEA é trazer uma variedade de perspectivas e experiências diferentes para o projecto.

Porque cada FMEA é única em muitos aspectos do produto ou processo, as equipas são formadas quando necessárias e desmanteladas assim que a FMEA é concluída.

A composição da equipa da FMEA é ditada pela tarefa específica ou objectivo, daí que seja contraproducente ter uma equipa da FMEA permanente. Nos casos em que os processos ou produtos são tão complexos que é necessário várias FMEA's para abordá-los, tem lógica ter algumas pessoas repetidas nas equipas, mas também deve haver sempre algumas pessoas novas para assegurar uma perspectiva diferente dos problemas.

2.4.3 Tamanho da equipa da FMEA

O número ideal de pessoas numa FMEA é de 3 a 6 pessoas de vários departamentos, mas o número mínimo de pessoas é ditado pelo número de áreas que são afectadas pela FMEA.

Cada área (por exemplo, produção, tecnologia de produção, manutenção, logística, qualidade) deveria ter um representante na equipa.

O cliente do processo, quer interno ou externo à organização, pode adicionar uma perspectiva única e deve ser considerado como membro da equipa da FMEA.

2.4.4 Membros da equipa da FMEA

É um benefício para a FMEA ter membros na sua equipa que têm diferentes níveis de conhecimentos relativamente ao produto ou processo. Aqueles que têm maior conhecimento do produto ou processo são mais perspicazes e vão valorizar os problemas mais óbvios. Os membros menos familiarizados vão trazer imparcialidade e objectividade ao processo.

Temos que ter consciência que aqueles que têm um investimento emocional no produto ou processo podem ficar extremamente sensíveis na parte das críticas podendo tornar-se defensivos.

A decisão de inclusão ou não na equipa, deve ser tomada tendo em consideração as desvantagens em relação às vantagens da sua experiência e conhecimentos que possam trazer para a FMEA (Tabela 2).

Algumas vantagens das equipas interdisciplinares são:

O conhecimento e a experiência de vários colaboradores são utilizados;

O aumento da aceitação e da qualidade de criação da FMEA;

Aumento da comunicação funcional e da cooperação.

FMEA do Produto		FMEA do Processo
Sistemas	Subconjuntos/Componentes	Todos os processos relevantes
Sistema/Desenvolvimento do software	Desenvolvimento de componentes	Engenheiro do processo
Aplicação	Testes	Produção
Gestão da qualidade	Engenharia de produção	Gestão da qualidade
Desenvolvimento de componentes	Gestão da qualidade	Desenvolvimento de componentes
Departamentos corporativos	Aplicação/Desenvolvimento de sistemas	Compras
Compras	Testes de resistência	Fornecedores
Clientes	Departamentos corporativos	Logística
	Vendas	
	Compras	
	Fornecedores	
Moderador	Moderador	Moderador

Tabela 2 – Potenciais membros da equipa da FMEA do processo ou produto
(Adaptado da Bosch, 2006)

2.4.5 Líder da equipa FMEA

O líder da equipa de uma FMEA deve ser seleccionado pela administração ou seleccionado pela equipa mal esta seja constituída. O líder da equipa é responsável pela coordenação do processo FMEA, incluindo:

- Acompanhamento e facilitação das reuniões;
- Assegurar que a equipa tem os recursos necessários disponíveis;
- Garantir que a equipa está a fazer progressos para completar a FMEA.

O papel do líder de equipa é ser facilitador e não deve dominar a equipa e nem tomar decisões. Deve-se nomear alguém para ser responsável pelo controlo da duração da FMEA e dos objectivos alcançados. Este papel de controlo é normalmente rodado por todos os membros da equipa, excepto o líder de equipa.

2.4.6 O papel do especialista do processo

Uma pessoa com conhecimentos no processo (por exemplo, o engenheiro do design numa design FMEA) pode trazer grandes *inputs* para a equipa e pode acelerar o processo de concepção da FMEA. Mas, por outro lado, um especialista de processo também pode atrasar a concepção da FMEA.

A FMEA é um olhar crítico ao produto ou processo. Assim, pessoas da equipa da FMEA que têm participação no produto ou processo, não podem permitir que os seus egos interfiram com a FMEA. Muito provavelmente, o especialista de processo, tem um grande investimento no produto ou processo, tanto em termos de tempo como em termos de integridade pessoal. A proposta da FMEA, (Macdermott, Mikulak, Beauregard, 1996) na sua essência, é encontrar falhas no trabalho dessa pessoa. Isto pode ser um processo difícil para uma pessoa ultrapassar e pode resultar em diferentes tipos de reacções incluindo posição de defesa, raiva, decréscimo de auto-estima, todos os quais são contra produtivos para ambos, tanto para a equipa como para o especialista de processo.

2.4.7 Formação da equipa da FMEA

A formação extensiva não é necessária para membros de equipa que já tenham experiências anteriores a trabalhar em equipas de resolução de problemas, mas é benéfico que todos os membros da equipa, sem excepção, tenham alguns conhecimentos sobre o processo de elaboração da FMEA, antes do início do projecto. O moderador que tem bastantes conhecimentos no processo da FMEA pode facilmente guiar a equipa através do desenvolvimento da FMEA. Isso significa que não é necessário uma formação extensiva de FMEA's para os membros de equipa. A equipa da FMEA pode então, começar de imediato a ser produtiva trabalhando num projecto real da FMEA e ao mesmo tempo beneficiar da mais poderosa ferramenta de formação, a experiência.

No entanto, como os membros da equipa vão utilizar as capacidades da FMEA durante a sua elaboração, é importante, que estes tenham conhecimentos mínimos sobre o funcionamento da FMEA. Ou seja, os membros da equipa devem estar conscientes dos possíveis *outputs* da FMEA e devem, por exemplo, saber diferenciar potenciais modos de falha de causas e efeitos.

Também o conhecimento de técnicas consensuais de construção, documentação da equipa do projecto e técnicas de geração de ideias, tais como *brainstorming*, são todas necessárias para os membros de equipa da FMEA. Além disso, os membros da

equipa devem estar à vontade na utilização de ferramentas de melhoria contínua de resolução de problemas (por exemplo, *flowcharting*, análise de datas, e técnicas gráficas).

2.4.8 O moderador

O moderador é um assistente do método, um regulador, um incentivador, com o objectivo de resolver problemas ou propiciar o trabalho em equipa em relação a um determinado tópico. O moderador optimiza o processo, mas não domina o seu conteúdo.

O moderador não é a fonte primária de informações, estas serão fornecidas por meio de formação e cursos específicos de FMEA. O conhecimento do moderador é adquirido através de seminários, como por exemplo, o TQ011 (Básico da FMEA), TQ012 (IQRM e a FMEA) e o TQ013 (Moderação de uma FMEA), no caso do grupo da *Bosch*.

2.4.8.1 Funções do moderador

- Motivar os participantes;
- Ajudar no desenvolvimento da comunicação entre os membros da equipa;
- Trabalhar de modo sistematizado e ensinar os participantes a trabalharem dessa forma;
- Ajudar a equipa a solucionar os problemas, as dificuldades na elaboração da FMEA (documentações, conceitos);
- Coordenar a FMEA e trocar informações com outros moderadores.

2.4.8.2 Princípios do moderador

- Ser honesto, imparcial, equilibrado e sereno;
- Apto a evidenciar qualificações profissionais necessárias;
- Somente executar FMEA compatível com procedimento específico da empresa onde trabalha;
- Experiência em FMEA's.

2.4.8.3 Responsabilidades do moderador:

Dar uma breve explicação sobre a FMEA;
Apresentar o assunto e abrir os trabalhos;
Propor uma sequência de resolução dos diferentes eventos;
Propor regras para atingir os objectivos;
Monitorizar e assegurar que as regras estão a ser seguidas;
Liderar os participantes para alcançar o objectivo pretendido através de questões;
Assegurar que as discussões são focadas no tema e evitar alienação do tema;
Propor planos para prioridades (por exemplo: dar prioridade a valores de RPN mais elevados);
Assegurar que as decisões sejam tomadas por todos os membros da equipa em conjunto.

2.4.8.4 Como pode o moderador motivar a equipa?

Assegurar a composição multidisciplinar da equipa para otimizar a FMEA;
Evitar/minimizar dependências ou subordinações hierárquicas na equipa;
Escolher local de trabalho apropriado (sem interrupções e com todos os meios necessários para a concentração dos participantes);
Tentar encontrar a concordância de todos em relação à data, local e horário;
Ter apoio de todas as chefias dos membros da equipa para realização dos trabalhos;
Esclarecer o propósito, significado da FMEA e demonstrar a importância da equipa;
Aplicar o sistema de maneira compreensível e apropriada de acordo com as práticas definidas pela empresa;
É essencial que o moderador acredite na ferramenta que está aplicar, caso contrário é um desperdício de tempo e recursos.

2.5 Técnicas de discussão

Existem, tipificados, alguns comportamentos de elementos de uma equipa. Na tabela seguinte apresentam-se algumas características desses elementos e as acções que deverão ser tomadas pelo moderador para as contrariar.

Pessoas difíceis	Principais características	Acção do moderador
O Contestador	Quer emitir a sua opinião sobre o assunto que está a ser discutido e, frequentemente, opõe-se aos pontos de vista do moderador e dos companheiros.	Por momentos, coloque a para questão ao grupo. Se possível, faça-o ver que não está a colaborar com o objectivo. Concorde um pouco com o que foi dito evitando discussões.
O Sabe – Tudo	Deseja impor a sua opinião a todos.	Transforme as afirmações em perguntas gerais, encorajando outros participantes a comentarem livremente o que esta pessoa diz.
O Tímido	É não – sociável, não participa no grupo.	Colocar questões fáceis, estimular a sua autoconfiança, reforçar por meio do elogio. Encontre algo em que ela possa colaborar, como na hora dos resumos, por exemplo.
O Insensível	Desinteressado.	Faça-lhe perguntas que afectem directamente o seu trabalho. Cite opiniões que ele tenha dado fora de reunião e mereçam ser citadas.
O Experiente	Pessoa que se ressentir com as opiniões do moderador, pois imagina que conhece o seu trabalho melhor do que ninguém.	Faça-o sentir que a sua experiência pode ser útil para os outros e que um dos objectivos da formação é o intercâmbio de ideias. Faça-o sentir o respeito do grupo pelo seu conhecimento profissional.

O Tagarela	Fala demais, não dá oportunidade aos outros participantes.	Não olhe para essa pessoa ao formular as perguntas. De uma forma propositada, dirija-se a outro participante e peça a opinião dele. Mostre-lhe que os outros não têm tido oportunidade de expressar as suas ideias.
O Atrasado	É aquele que chega sempre fora dos horários programados.	Converse com este participante individualmente, para saber o motivo do seu atraso. Cabe discutir com este participante que atitudes tomar.
O Conversador	Sempre dispersivo, pois está sempre a conversar sobre assuntos fora do conteúdo apresentado na reunião da FMEA.	<u>Conversas em alto volume</u> : faça uma pausa, um silêncio. <u>Conversas em baixo volume</u> : formule questões ao participante, para que coloque o seu ponto de vista, as suas dúvidas e experiências sobre o assunto.
O Optimista	Pilar do grupo – atitude positiva.	Pedir a esta pessoa para resumir os resultados. Conscientemente deve envolvê-la nas discussões.

Tabela 3 – Algumas técnicas de discussão para pessoas difíceis (Adaptado Bosch, 2006)

3 Procedimento da elaboração da FMEA

3.1 O plano de trabalho da FMEA

Todo o conteúdo da FMEA deve ser claramente e precisamente formulado para que possa ser facilmente perceptível mais tarde; para tal devem seguir-se os seguintes passos. A tabela seguinte mostra os passos individuais da FMEA com as tarefas correspondentes.

Preparação numa "equipa"	0	Sistemática de preparação
		Determinar a tarefa, limitações e os objectivos
		Construção da equipa de trabalho, calendarização das actividades
		Preparação dos documentos para a equipa
		Criação de uma descrição funcional
	1	Análise estrutural
		Numeração
		Providenciar documentos ou passos do processo
	2	Análise funcional
		Determinar as funções/características
Criação na "equipa FMEA"	3	Análise de falhas
		Definir o potencial modo de falha
		Detectar os efeitos e as causas do modo de falha
	4	Análise de acções e determinação de características especiais
		Descrever a prevenção e a detecção do modo de falha
		Determinar a significância do efeito do modo de falha (S)
		Determinar a probabilidade de ocorrência (O)
		Determinar a probabilidade de detecção (D)
		Determinar as características especiais
		Calcular o número prioritário do risco $RPN = S \times O \times D$
Update pequena"	5	Optimização / melhoria da qualidade
		Identificar os riscos (analisar S, O, D e RPN) e determinar a acção necessária
		Determinar as acções de melhoria com responsável (R:) e a data (D:)
		Actualizar o rácio depois de todas as acções de melhoria implementadas (S, O, D)

Tabela 4 – Plano de trabalho da FMEA (Adaptado da Bosch, 2006)

3.2 Passo 0: Preparação

Este passo tem como objectivo a determinação das condições e os dos pré - requisitos para uma execução eficiente da FMEA.

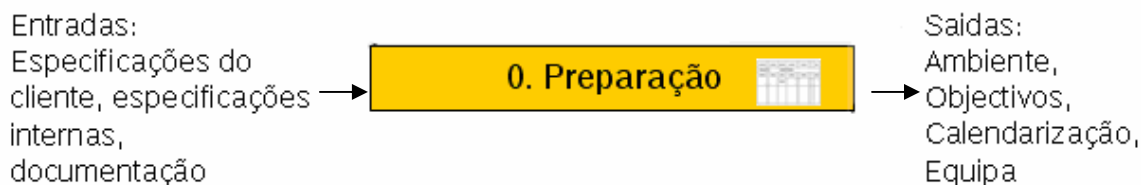


Figura 3 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo 0

Neste capítulo definem-se as tarefas e responsabilidades que são necessárias para o sucesso do desempenho da FMEA de acordo com o plano de trabalho (Tabela 4).

3.2.1 Definição de tarefas

A definição das tarefas e o respectivo responsável são apresentados na tabela seguinte.

Tarefa	Responsável
Define tarefas e objectivos (tipo de FMEA, recursos)	Líder do projecto
Define os membros de equipa	Líder do projecto e moderador
Providencia os documentos necessários (ex: especificações internas e externas, características especiais, lista de falhas internas e externas, standards, legislação, plano de trabalho e plano de controlo)	Líder do projecto e membros da equipa
Define tópicos para serem utilizados na reunião	Moderador
Estima os esforços da FMEA	Líder do projecto e moderador
Faz as preparações organizacionais	Líder do projecto ou membros da equipa

Tabela 5 – Atribuição de tarefas e responsabilidades (Adaptado da Bosch, 2006)

A preparação sistemática da FMEA reduz significativamente os recursos necessários para criar a FMEA. Durante o planeamento da FMEA os requisitos específicos do cliente (se existirem) tais como critérios de rácios, características especiais ou a apresentação dos prazos têm que ser tomados em conta.

O prazo da análise pode ser efectuado na FMEA do produto, por exemplo com um diagrama de blocos (Figura 4). Neste contexto os limites da análise e as suas interfaces vão ser definidas e identificadas. Na FMEA do processo pode ser utilizado o plano de controlo.

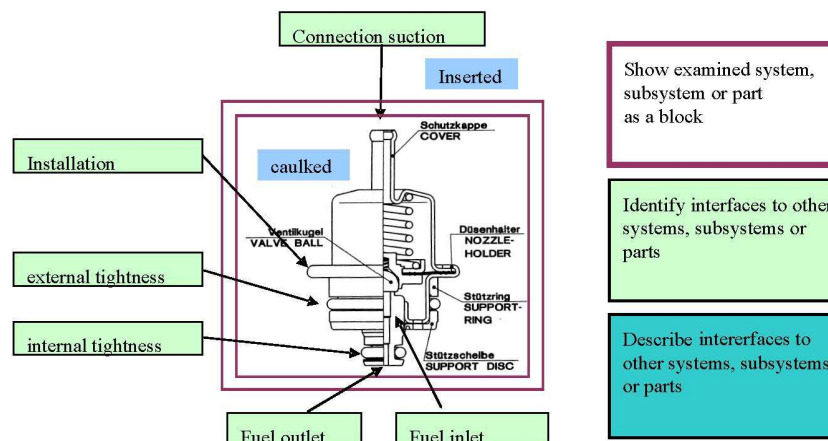


Figura 4 – Exemplo de um diagrama de blocos (Bosch, 2006)

3.2.1.1 Factores de sucesso para a qualidade da FMEA:

- Tempo de criação / começar e acabar dentro dos prazos;
- Recursos necessários, tais como as capacidades dos associados, salas de reunião, softwares, etc.
- Moderadores independentes do projecto;
- Composição da equipa da FMEA;
- Membros da equipa com capacidade de trabalhar em equipa;
- Sensibilização para a viabilidade da execução das acções;
- Número de acções abertas ao tempo da revisão.

3.2.2 Preparação da FMEA

Antes de dar o primeiro passo da FMEA (preenchimento das funções), deve ser feito um ponto de situação, nomeadamente:

Compreender as necessidades dos clientes;

Um produto ou um processo podem desempenhar funções de forma perfeita, mas se essas funções não estiverem de acordo com as necessidades do cliente, está-se a perder tempo e um potencial cliente. Portanto, devemos determinar quem são os nossos

clientes (internos ou externos), quais as suas verdadeiras necessidades e documentar essas necessidades de forma a criar conceitos que se adequem a essas mesmas necessidades.

Desenvolver e avaliar “conceitos” baseados nas necessidades dos clientes e na estratégia do negócio;

Existem muitos métodos que se podem utilizar para o desenvolvimento de conceitos, como por exemplo o *Brainstorming*, que vão ser desenvolvidos mais extensivamente no capítulo de interação entre essas técnicas e a FMEA (capítulo 6).

Criar uma equipa da FMEA eficaz;

Não obstante este tema já ter sido abordado na secção 2.3., a importância da equipa da FMEA, convém sempre não esquecer as seguintes considerações:

- § Quem vai fazer parte da equipa;
- § Porque o projecto é importante;
- § Participação baseada na experiência;
- § Equipa Multi – Funcional;
- § Decisões baseadas no consenso;
- § Representando todos os níveis relevantes;
- § A participação poderá ser alterada ao longo do projecto dependendo das necessidades;

Definir o projecto e o âmbito da FMEA;

A necessidade de uma FMEA pode surgir de várias formas:

- § Requisito do sistema da qualidade (QS-9000, ISO 9000, desenvolvidas mais extensamente no capítulo 5;
- § Novo projecto;
- § Alterações de processo;
- § Reclamações OKM;
- § Uso do novo processo num novo ambiente, localização ou aplicação.

3.2.2.1 Preparação da reunião da FMEA

Todos os requisitos técnicos para o sistema, design, produto ou processo ou o âmbito parcial de análise devem ser revistos em detalhe durante a preparação da FMEA

(por exemplo, “Lista de verificação de requisitos” que ser consultada no anexo 1). Eles devem estar completos, claros e quantificados. Questões em aberto devem ser clarificadas pelo líder do projecto.

Os documentos seguintes devem ser providenciados para a equipa, por exemplo para o caso de uma FMEA do produto ou processo:

FMEA – Produto

a) Para a primeira reunião

- Requisitos e especificações funcionais;
- Desenhos da construção dos materiais;
- Preparação da análise estrutural e funcional (passos 1 e 2);
- FMEA existentes (produtos parecidos, processos, etc.);
- Calendarização do projecto.

b) Para reuniões posteriores

- Tabelas de classificação de severidade, ocorrência e detecção aprovadas;
- “Características Especiais” especificadas pelos clientes;
- Plano de verificação do design;
- Lista de falhas;
- Amostras;
- Validação dos resultados;
- Documentação técnica do cliente.

FMEA – Processo

a) Para a primeira reunião

- FMEA do produto;
- Plano de trabalho/ Plano de controlo;
- Desenhos da construção dos materiais;
- Preparação da análise estrutural e funcional (passos 1 e 2);
- FMEA existentes (processos parecidos, etc.);
- Calendarização do projecto.

b) Para as reuniões posteriores

- Processo de validação dos resultados;
- Capabilidade de máquinas;
- Amostras;
- Documentação técnica do cliente.

3.3 Passo 1: Análise Estrutural

Este passo tem como objectivo a elaboração de uma visão geral do produto / processo e conseguir uma compreensão global do sistema através de:

- Um diagrama de blocos ou um fluxograma do processo;
- Identificação dos elementos do sistema e da estrutura do sistema;
- Determinação das responsabilidades (por exemplo, para técnicos de cada um dos conteúdos estruturais).

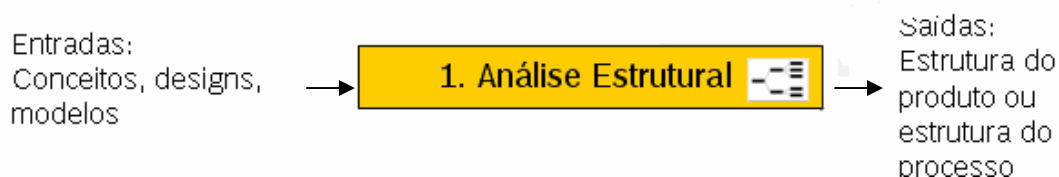


Figura 5 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo1

A melhor forma para elaborar o fluxograma do processo é percorrer o processo com toda a equipa da FMEA como se fossem o produto a ser processado ou criado. Os passos do processo devem ser seguidos sequencialmente e devem ser tiradas notas durante o percurso pela produção.

Um sistema consiste num conjunto de elementos (subsistemas), que têm características distintas e estão ligados entre si por relações. Um sistema está separado do meio ambiente, pelas fronteiras do sistema e está ligada a ele pelas variáveis de entrada e de saída (Figura 6).

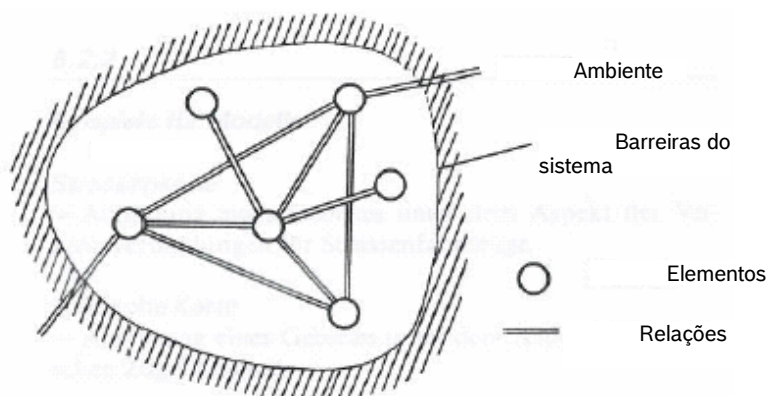


Figura 6 – Exemplo esquemático de um sistema (Bosch, 2006)

Os tipos de sistemas incluem sistemas peritos, ou seja, os sistemas técnicos (produtos técnicos, tais como máquinas, peças máquina, software, ...) sistemas sócio -

técnicos (sistemas técnicos / processos, em que as pessoas estão envolvidas, tais como fábricas, linhas de montagem, sistemas de controlo do tráfego, ...).

A estrutura da FMEA do produto/processo consiste num sistema individual de elementos. Esses são, por exemplo, componentes na FMEA do produto ou passos da produção na FMEA do processo. Eles descrevem as relações estruturais de um sistema e são exibidos numa estrutura em árvore. O primeiro elemento da estrutura em árvore é o chamado elemento raiz ("sistema superior"), que inclui o veículo, o condutor / utilizador e o ambiente. O nível de detalhe da estrutura em árvore pode variar, dependendo do âmbito da análise (sistema, interface, montagem, componente) (Figura 7).

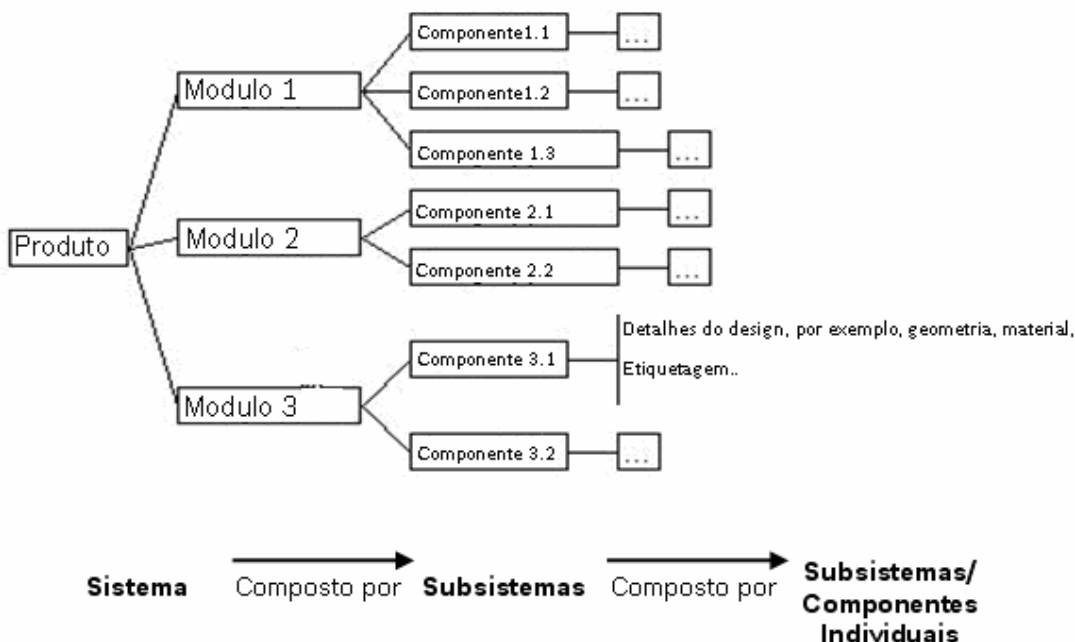


Figura 7 – Visualização do nível de detalhe do sistema (Adaptado da Bosch, 2006)

O processo em estrutura mostra o fluxo do processo. A FMEA do processo baseia-se em todas as informações da FMEA do produto. No anexo 2, encontramos figuras explicativas da correlação entre o diagrama de blocos, o fluxograma e a estrutura do sistema.

3.3.1 Questões a responder quando se faz uma análise estrutural:

Como está o produto/processo estruturado?

Estão todos os elementos estruturais completamente abrangidos, sem repetição?

Estão os limites dentro da estrutura e para o meio, determinados?

Estão os elementos estruturais do meio, os quais tem interface relevante para o produto/processo definidos?

Está a área de trabalho da análise evidente e representada compreensivamente?

Estão as responsabilidades para os elementos estruturais definidos e verificados?

3.4 Passo 2: Análise Funcional

O objectivo deste passo é elaborar uma visão geral da funcionalidade do produto/processo, detectar efeitos recíprocos e estabelecer um entendimento comum dos requerimentos.

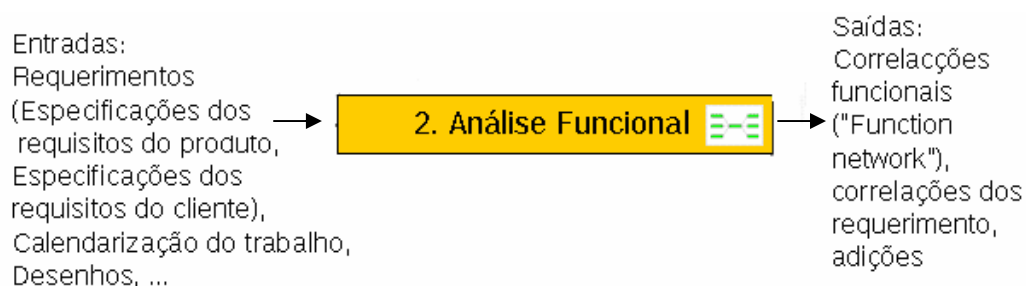


Figura 8 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo 2

A função é uma ligação entre as entradas e saídas do sistema (processo) com o objectivo de concretizar a tarefa. Um sistema tem características importantes e distintivas. As características podem ser divididas em dois grupos: funções e as características não funções. As características têm um significado (qualidade) e parâmetros de valor (quantidade).

Função implica a formulação de uma solução neutral da proposta pretendida do elemento funcional do produto. A função é o efeito de um produto ou um dos seus componentes; a função ideal deveria ser como a seguinte figura 9, com imagens concretas, datas e factos. A função deve ser descrita com um nome + verbo + adjectivo (quantificação).

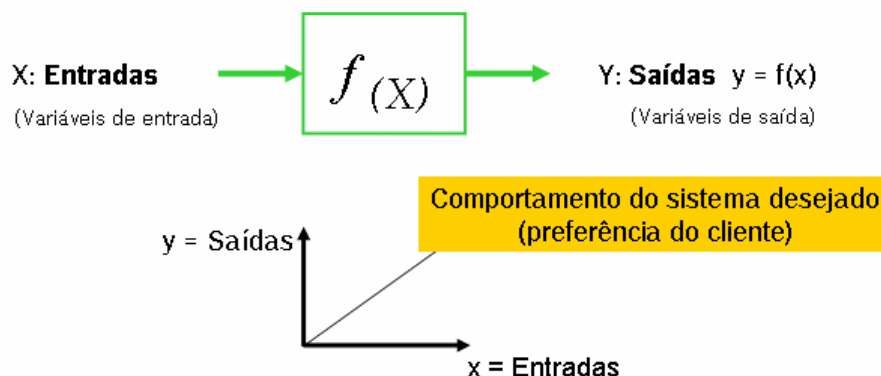


Figura 9 – Definição esquemática da função ideal (Adaptado da Bosch, 2006)

Mas a realidade é bem diferente, pois não conseguimos isolar todas as variáveis que interagem com o nosso sistema, como podemos verificar na figura seguinte.

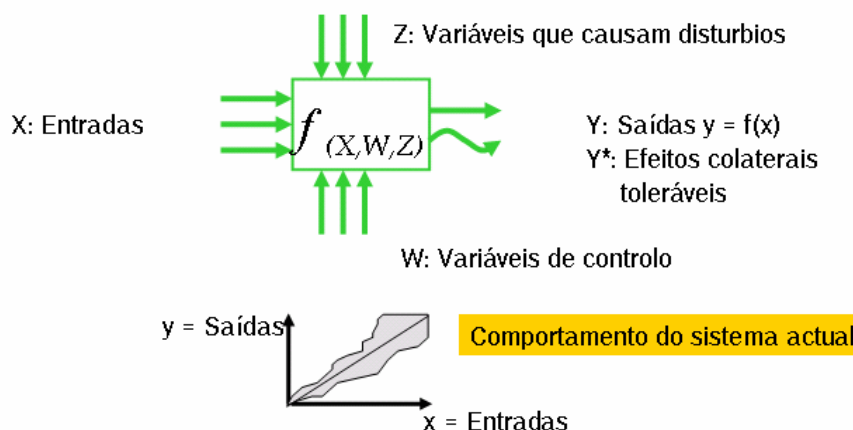
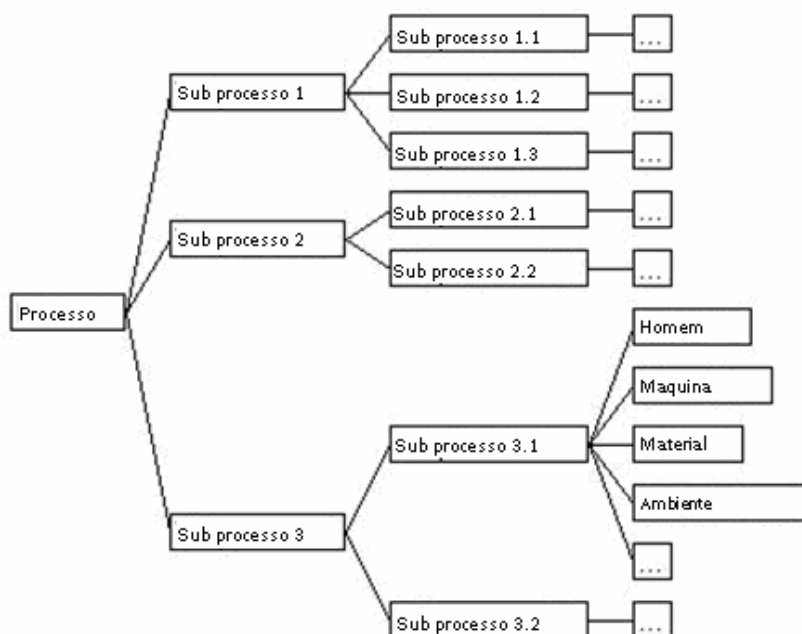


Figura 10 – Definição esquemática da função real (Adaptado da Bosch, 2006)

As variáveis de controlo são parâmetros que influenciam o comportamento do sistema estatisticamente e/ou dinamicamente. As variáveis que causam distúrbios são factores que causam variância na função do sistema e para as quais o seu controlo é difícil, impossível ou é possível mas inaceitável devido aos altos custos. Podemos ter funções de entrada que são funções que afectam a análise do sistema de elementos provenientes do nível inferior do sistema de elementos ou das interfaces. Funções internas são funções que são desempenhadas pelo próprio sistema de elementos. Funções de saída são funções provenientes do sistema de elementos e afectam o nível superior do sistema de elementos ou elementos do sistema de outras estruturas parciais via interfaces.

Cada elemento do sistema tem de ser descrito com funções / características (influências tais como a geometria, acabamento superficial, material podem ser listadas), com excepção dos elementos que foram inseridos para uma melhor visão global da estrutura (por exemplo, o homem, a máquina, o método, materiais, meio –Figura 11).

Isto requer conhecimento abrangente do sistema, produto ou processo e seu ambiente e condições de funcionamento.



**Figura 11 – Visualização do nível de detalhe desde a raiz do elemento até á causa raiz
(Adaptado da Bosch, 2006) Rede Funcional (“Function network”)**

A interacção dos vários elementos funcionais do sistema deve ser apresentada como uma rede funcional. As sub – funções, que descrevem a função como uma soma total, são logicamente ligadas umas às outras na construção da estrutura da função classificada (Figura 12).

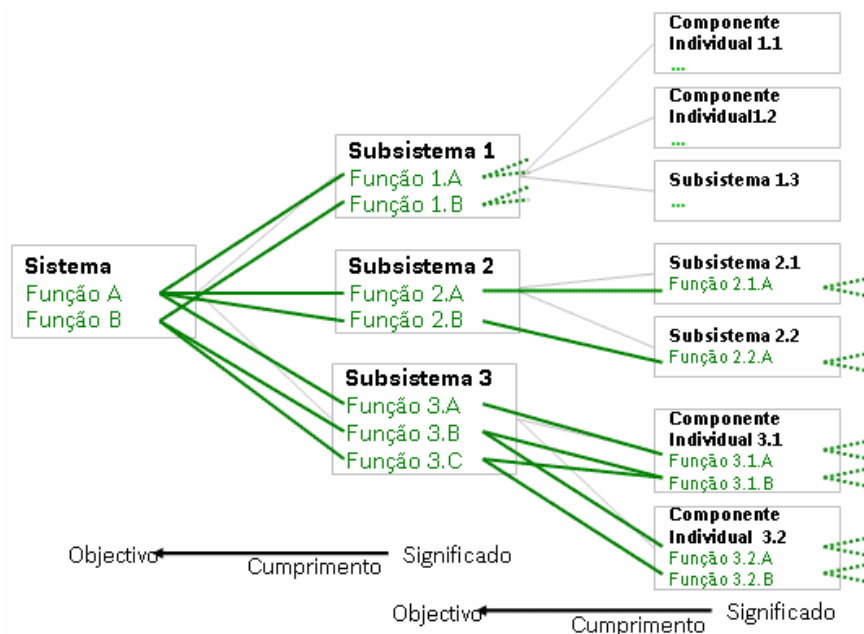


Figura 12 – Exemplo de uma rede funcional (Adaptado da Bosch, 2006)

O detalhe da estrutura da função aumenta da esquerda para a direita, onde as funções do lado direito descrevem como a função precedente deveria ser cumprida. Como uma ajuda para uma ligação lógica de uma estrutura de uma função, são feitas as seguintes perguntas "Como?" (da esquerda para a direita) e "Porquê?" (da direita para a esquerda). Interações entre funções têm de ser consideradas na análise funcional.

No intuito de criar a rede funcional, o envolvimento de funções de entrada, saída e internas devem ser tidas em conta. A função pode ser associada a uma ou várias sub – funções (Figura 13).

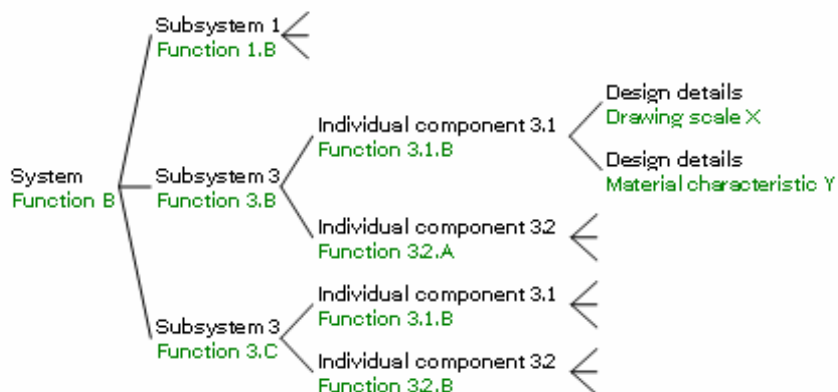


Figura 13 – Exemplo de uma rede funcional do software IQRM

O produto da FMEA abrange todas as funções do sistema de componentes, com base em requisitos do sistema, que opera estados e condições de funcionamento tidos em conta à partida como uma caixa negra.

Após a análise funcional, o já especificado âmbito da análise pode ser definitivamente confirmado ou adaptado.

A descrição das funções e características tem que ser feita em detalhe, de modo a efectivamente eliminar os potenciais modos de falha.

Ao realizar a FMEA de processo as informações do processo, que não afectam o produto, devem ser adicionalmente descritas no nível do produto.

3.4.1 Questões a responder quando se faz uma análise funcional:

Estão todos os requisitos (funções/características) abrangidos?

O meio ambiente/ambiente de trabalho foram incluídos na análise funcional?

Pode a descrição das funções/características ser verificada e validada?

Estão as funções divididas em sub – funções, ou seja as funções estão interligadas?

3.5 Passo 3: Análise de falhas

O objectivo deste passo é a detecção de possíveis falhas, a derivação de várias falhas das funções a partir das funções e a ligação das falhas das funções (*Failure network*).

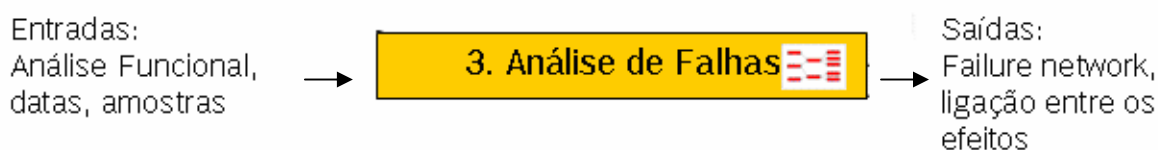


Figura 14 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo 3

Os potenciais modos de falha de uma função são a maneira pela qual não é possível concretizar a função ou característica (desvio da função requerida) (Figura 15).

As falhas das funções são derivadas das funções. Elas são descritas de forma semelhante á análise funcional (nome, verbo e quantificação).

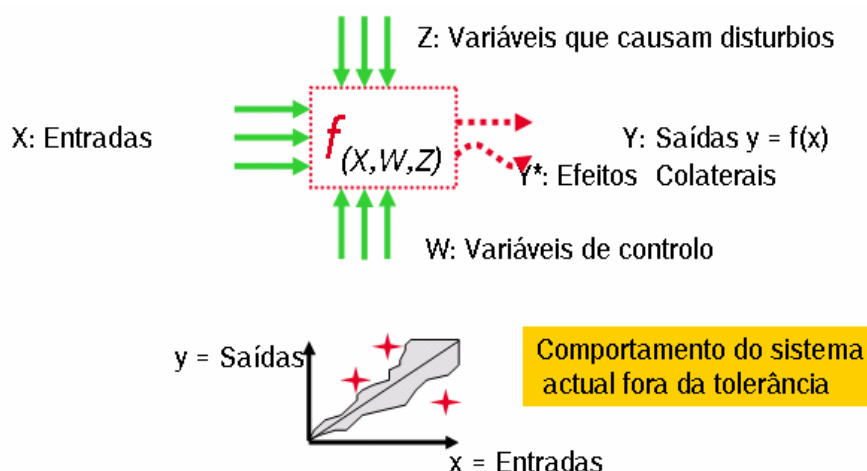


Figura 15 – Definição da falha da função (Adaptado da Bosch, 2006)

Devemos distinguir entre os seguintes quatro tipos de falhas:

Nenhuma função: O produto não funciona de todo.

Parcial / excessivo / função deteriorada: desempenho funcional inadequado. Nem todas as características especificadas ou atributos são preenchidas. Isso inclui também a excessiva (demasiado forte) função e progressiva deterioração da função.

Perda temporária da função: Preenche os requisitos, mas a totalidade ou parte da sua capacidade funcional é perdida de tempos em tempos devido a influências externas (por exemplo, temperatura, humidade).

Avaria imprevista: Descreve a interacção entre os vários elementos do sistema que funcionam correctamente individualmente, mas que têm um efeito indesejável sobre o desempenho global do produto ou processo. A combinação dos desempenhos individuais conduz ao inadequado desempenho global.

As potenciais causas do modo de falha são as possíveis disfunções do sistema de nível inferior e elementos do sistema através de interfaces elementos afectos. Devem ser mencionadas todas as possíveis causas do defeito.

Os potenciais efeitos do modo de falha (consequência) são uma pequena e precisa descrição do resultado do modo de falha no mais alto nível do sistema (produto ou desempenho do sistema) ou no ambiente do cliente (externo ou interno). Esta descrição deve ser feita em diferentes passos – directa, seguinte, fim. Pode ser deduzida do design ou da FMEA do sistema.

A *failure network* (Figura 16) é uma representação causa – efeito das falhas das funções.

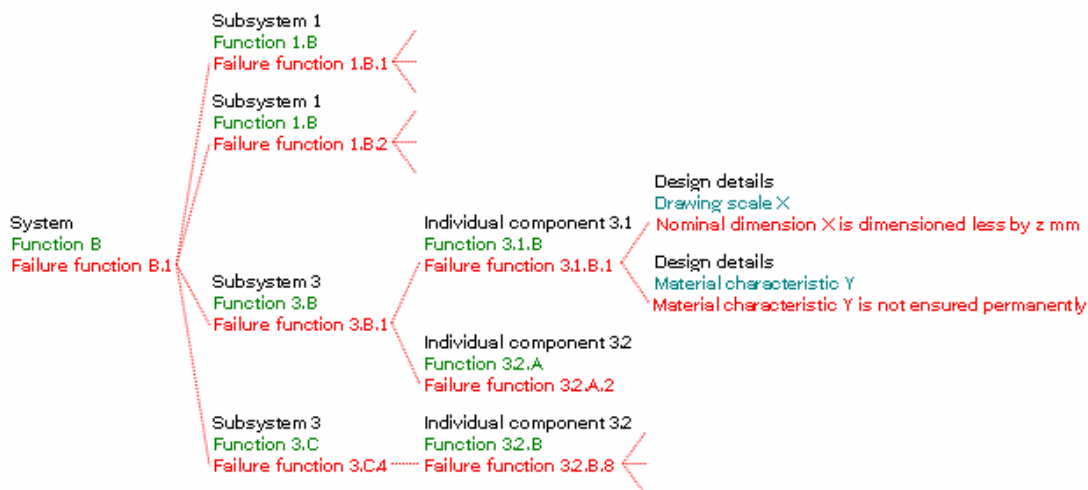


Figura 16 – Representação de uma *failure network* (Adaptado da Bosch, 2006)

3.5.1 Questões para a análise de falhas:

- O que pode correr mal?
- Os modos de falha são realmente derivados da função?
- Os modos de falha são absolutos?
- Os modos de falha estão explicitamente e compreensivamente descritos?
- Os modos de falha estão interligados com todos os outros?
- Estão as características especiais do cliente identificadas?

3.6 Passo 4: Análise das acções tomadas

O objectivo deste passo é descrever o estado de desenvolvimento e a sua avaliação:

- Descrição do estado actual da prevenção/detecção da falha;
- Determinar a severidade dos efeitos da falha (S);
- Avaliação da probabilidade da ocorrência (O);
- Avaliação da probabilidade de detecção (D);
- Avaliação do número prioritário de risco (RPN).

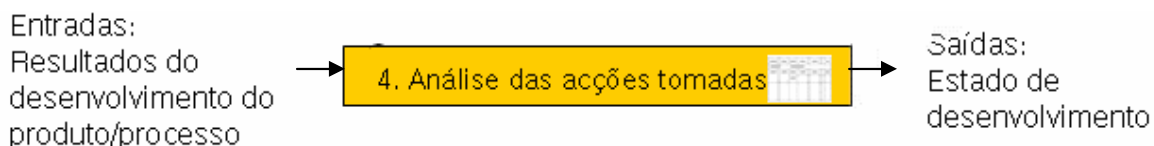


Figura 17 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo 4

A avaliação do risco de uma cadeia de causa – efeito consiste de um potencial efeito da falha, potencial falha e potencial causa da falha, indicando a gravidade do efeito da falha, a probabilidade de ocorrência da falha e a probabilidade de detecção da causa/ do modo de falha/ do efeito da falha. Podemos ver exemplos de formulários de uma FMEA e como devem ser elaborados no anexo 3.

O processo de avaliação do risco inclui a definição de medidas de prevenção e detecção. Se a equipa da FMEA decide não definir mais acções para uma específica causa do modo de falha para reduzir o RPN, então isto deve estar documentado na FMEA colocando o estado “*NONE*” para cada causa do modo de falha. Isto significa que na coluna das acções do formulário da FMEA “*NONE* ” deve ser inserido depois de estipuladas as medidas necessárias para a causa do modo de falha Severidade dos modos de falha (S)

Esta classificação reflecte a severidade do efeito do potencial modo de falha com respeito para com o produto/processo e/ou o cliente. Este valor só poderá ser alterado caso se verifique uma alteração das características do conceito do produto ou alteração das características do processo (Tabela 6).

Product/process FMEA: S - Severity of failure effects	Rating
Extremely serious failure Failure affecting safety and/or compliance with legal requirements, without warning. Machine operator or assembly personnel could be endangered without prior warning.	10
Extremely serious failure Failure which could affect safety and/or compliance with legal requirements, with warning. Machine operator or assembly personnel could be endangered with a prior warning.	9
Serious failure Loss of primary functions, e.g. vehicle cannot be driven 100% of the product must be scrapped or vehicle/component must be repaired (repair time > 1h).	8
Serious failure Function of the vehicle is strongly impaired, immediate servicing is required. 100% of the product must be scrapped or vehicle/component must be repaired (repair time 0.5 - 1h).	7
Moderately serious failure Failure of important operational and comfort systems, immediate servicing is not required. 100% of the product must be scrapped or vehicle/component must be repaired (repair time < 0.5h).	6
Moderately serious failure Impaired function of important operational and comfort systems. 100% of the product must be reworked or vehicle/component must be repaired on the production line (at RB).	5
Moderately serious failure Limited function of important operational and comfort systems, noticeable by all drivers. The product must be sorted (no scrap), a part of the product must be reworked.	4
The failure is insignificant The customer is only slightly bothered, and will probably only notice slight interference, noticeable by the average driver. A part of the product has to be reworked on the production line, but away from the work station.	3
Failure is unlikely It is unlikely that the failure could have a noticeable effect on the behaviour of the vehicle. Only noticeable by experts or trained/experienced drivers. A part of the product has to be reworked on the production line/work station.	2
No effect	1

Tabela 6 – Critérios de classificação para a severidade do efeito da falha para a FMEA (Bosch, 2006)

Na FMEA do produto, as acções implementadas para limitar / reduzir o efeito de um potencial modo de falha têm que ser levadas em conta.

Quando se está a avaliar o efeito da falha, assume-se que o tipo de modo de falha que ocorreu não é detectável.

As descrições e avaliações dos efeitos da falha têm de ser equilibrados entre a FMEA do produto e do processo. Os efeitos das falhas internas e externas são consideradas em diferentes níveis.

3.6.1 Prevenção da falha

Acções destinadas a evitar falhas são todas as acções preventivas que são implementadas no produto, processo, ou design para evitar a causa da falha ou para reduzir a sua ocorrência.

Para a FMEA do produto das acções introduzidas devem ser consideradas, aquelas que minimizam/reduzam as falhas do design do produto até à concretização do produto. Para FMEA do processo das acções introduzidas devem ser consideradas, aquelas que previnem/minimizem a falha do produto/processo. As acções têm de ser formuladas de forma clara, compreensível e devem estar documentadas.

3.6.1.1 Categorias de prevenção das falhas

Produto

Design de acordo com as *guidelines*, normas, design bem testado, testes básicos, simulação, cálculos de viabilidade e métodos de elementos bem definidos.

Processo

Processo verificado, design de acordo com as *guidelines*, monitorização dos parâmetros do processo com limites de controlo, máquina pára / avisa e existe a possibilidade de uma intervenção correctiva (*Poka-Yoke*), desactivação do abastecimento das linhas, manutenção preventiva e controlo estatístico de qualidade (SPC).

3.6.2 Probabilidade de ocorrência (O)

Esta classificação reflecte a probabilidade de ocorrer um modo de falha como consequência de determinada causa. Acções implementadas para evitar a causa do modo de falha são tomadas tendo em conta esta classificação. A eficácia e eficiência das acções preventivas devem ser provadas. As relações de defeitos da tabela são baseadas no número de defeitos que se espera que ocorram relativamente ao tempo de vida do produto. Deve ser considerado as experiências da empresa, 0 km e campo.

A prevenção de falhas significa que todas as acções preventivas implementadas no design do produto ou processo servem para evitar a causa da falha ou para evitar a

probabilidade da sua ocorrência (Tabela 7). Se não são descritas acções de prevenção, a avaliação da ocorrência deve ser igual a 10.

Product/process FMEA O – Probability of occurrence:	ppm*	C _{pk} ***	Rating
Very high It is nearly sure, that the failure mode and cause will occur very frequently.	100.000 50.000	- ** - **	10 9
High The failure mode / cause occurs repeatedly. Problematic, not a mature system Inaccurate process.	20.000 10.000	- ** - **	8 7
Medium. The failure mode / cause occurs occasionally. Advanced maturity of the system. Comparable to processes that occasionally produce defects, but not to a significant degree.	5.000 1.000 500	0.94 1.10 1.17	6 5 4
Low The occurrence of this failure mode / cause is low, proven system layout, proven process.	67 6.7	1.33 1.50	3 2
Unlikely. The occurrence of this failure mode/cause is unlikely.	<0,67	> 1,67	1

* Per LD (product lifetime) for products / internal defect rate for processes.

** This statistic makes no sense in these cases

*** Only for the process FMEA

Tabela 7 – Critérios de classificação para a probabilidade de ocorrência para a FMEA (Bosch, 2006)

FMEA do produto: As taxas de insucesso (por exemplo: ppm) nos gráficos de rácios baseiam-se no número de falhas que são esperados dentro de um determinado limite de tempo. As dependências do período de funcionamento (h), distância impulsionada (km), o número de ciclos, etc., devem ser tomadas em conta.

FMEA do processo: As taxas de insucesso das tabelas de classificação referem-se a falhas no processo produtivo, sem ter em conta as acções de detecção.

3.6.3 Detecção da falha

A detecção da falha é um exame que detecta um desvio inadmissível dos requisitos estabelecidos nas condições especificadas.

Para FMEA do produto são experiências, ensaios e testes com a seguinte análise até ao lançamento. Diagnóstico e acompanhamento de acções que são adequados para

a detecção atempada das causas da falha ou os seus efeitos. Para a FMEA do processo estes são todos os testes de detecção e possibilidades até entrega ao cliente. É dada prioridade à detecção da fonte do problema.

3.6.4 Categorias da detecção da falha:

Produto

Validação do nível do sistema, verificação a todos os níveis, por exemplo, do veículo, produto, módulos ou nível de componentes individuais. Ensaio à função, segurança, viabilidade robustez. Testes estatísticos (Comportamento em relação à corrosão, ao clima, à temperatura) e testes dinâmicos (*load* e *unload* da máquina).

Processo

Testes de acordo com o plano de inspeção/Plano de Controlo, medidas e avaliações aos postos de trabalho, monitorização dos parâmetros do processo/produto, teste intermédio e final, inspeção tecnológica, 100% inspeção visual manual, 100 % inspeção visual automática, testes das amostras, teste de qualidade e viabilidade e auditoria do produto.

3.6.5 Probabilidade de detecção (D)

A probabilidade de detecção (D) é a probabilidade de a causa da falha ou o tipo de falha ser detectado pelas medidas de inspeção antes de ser transferido para o cliente. O cliente é a pessoa / o processo subsequente que contém o resultado do trabalho do passo do processo envolvido.

As acções, que permitem a detecção de uma falha somente após a entrega ao cliente são avaliados com $D = 10$, bem como aquelas que não têm detecção possível. A eficácia das acções de detecção é que é avaliada e não o número de falhas detectadas. Na FMEA do processo está a ser avaliada a capacidade de acompanhamento do processo. Para detectar falhas que ocorrem raramente e para prevenir a continuação desse modo de falha em processos futuros, testes aleatórios são inadequados (Tabela 8). A eficácia e eficiência dessas acções de detecção devem ser provadas e documentadas.

Product FMEA: Rating criterion "design" D – Probability of detection	Rating
Unlikely. It is impossible or improbable that the failure mode/cause will be discovered during the development phase by testing or analysis activities	10
Very low. The probability is very low that the failure mode/cause will be discovered during the development phase by testing or analysis activities.	9 8
Low The probability is low that the failure mode/cause will be discovered during the development phase by testing or analysis activities.	7 6
Medium. The probability is medium that the failure mode/cause will be discovered during the development phase by testing or analysis activities.	5 4
High The probability is high that the failure mode/cause will be discovered during the development phase by testing or analysis activities.	3 2
Very high It is certain that a layout error will be discovered during the development phase by testing or analysis activities	1

Tabela 8 – Critérios de classificação para a probabilidade e detecção para a FMEA (Bosch, 2006)

3.6.6 Avaliação do risco (S, O, D)

O objectivo da avaliação de risco é dar prioridade aos potenciais pontos fracos, para encontrar pontos de partida para a optimização. Os riscos são analisados de acordo com as tabelas de identificação do *booklet* 14 (Bosch, 2006). Informação específica do produto pode ser adicionada a essas tabelas pelos diversos departamentos.

Acções especiais devem ser tomadas para todas as causas dos modos de falha que tenham um número prioritário de risco (RPN) maior que 125 ou valores muito altos de avaliações individuais. No entanto, o número prioritário de risco não é um critério exclusivo e limitativo da definição de medidas.

Regras para a avaliação crítica:

As respostas das tabelas são classificadas de 10 (pior dos casos) a 1;

Se não se chegar a consenso na avaliação, a avaliação a ser utilizada deverá ser decidida por votação;

A análise crítica é um dos pré – requisitos para uma FMEA efectiva.

3.6.7 Número prioritário de risco (RPN)

O produto das três avaliações S, O e D é chamado RPN, é usado para determinar a classificação dos riscos. Um RPN elevado indica a necessidade de acções.

Os valores do RPN, S, O e D mostram os riscos. Se temos valores altos de qualquer um deles são necessárias acções de melhoria. Regras para a avaliação crítica:

Para questões de segurança o valor de **O=1**. Se não for possível tem de ser garantido que as acções de detecção garantem que nenhum defeito chega ao cliente;

Se há uma grande probabilidade de ocorrerem falhas, as acções tem de ser tomadas de forma a assegurar o cumprimento dos objectivos de qualidade. Em geral, isto significa que os processos têm de estar sob controlo, o que coincide com **O=1 ou 2**;

Se **RPN > 125**, devem ser tomadas acções de melhoria;

Para itens legais e de segurança relevantes ($S \geq 9$) O=1 deve ser alcançada;

Se **50 < RPN < 125**, devem tomadas acções para melhoria contínua por forma a alcançar os objectivos de qualidade.

Os limites estipulados para o RPN não são adequados como único critério para a definição de avaliação melhoria actividades no FMEA, porque o RPN não proporciona informação adequada sobre a qualidade e riscos individuais. Outros critérios de introduzir acções podem ser identificadas pela multiplicação de SxO ou OxD.

Se a probabilidade de ocorrência não pode ser reduzida para os valores especificados, deve proceder-se de acordo com a CDQ0306 de características especiais.

Adicionalmente, melhorias fáceis de atingir, independentemente do RPN ($RPN > 125$) ou dos limites de avaliação acima descritos devem sempre ser implementadas.

A ideia do processo de melhoria contínua deve ser sempre implementada para a minimização do risco. Esforços devem ser tomados para introduzir oposições para os modos de falha com valores de RPN elevados, para minimizar o risco.

3.6.8 Definição e tratamento das características especiais

3.6.8.1 Características especiais são diferenciadas entre:

Características especiais: são características com um risco permanente que não pode ser minimizado agora e também não pode ser minimizado no decorrer da FMEA.

Potenciais características especiais: são características com um risco permanente que pode ser minimizado com acções no decorrer da FMEA. Potenciais características especiais devem ser marcadas apenas na S-FMEA e na D-FMEA. O objectivo deve ser sempre evitar características especiais potenciais na FMEA original por acções ajustáveis.

Características especiais do consumidor: são características especiais dadas pelo cliente. Elas são geralmente marcadas na S, D e P – FMEA.

3.6.8.2 Características especiais são determinadas exclusivamente dentro da FMEA:

Na FMEA são analisadas:

- Especificações do design com as existentes características especiais do consumidor;

- Características especiais potenciais existentes do desenvolvimento;

- Dimensões revistas existentes do desenvolvimento;

- São marcadas na FMEA as características potenciais e as características especiais do consumidor;

- Acções para actualizar as potenciais características especiais, as características especiais e as características especiais do cliente.

3.6.8.3 Interfaces com a FMEA

A determinação e marcação de características especiais dependem da severidade do efeito do modo de falha e da probabilidade de ocorrência da causa do modo de falha. A identificação toma lugar como uma função do último estado de avaliação de risco das medidas planeadas. Se a avaliação da combinação da S e da O não forem críticos, não acontece nenhuma marcação (Figura 18).

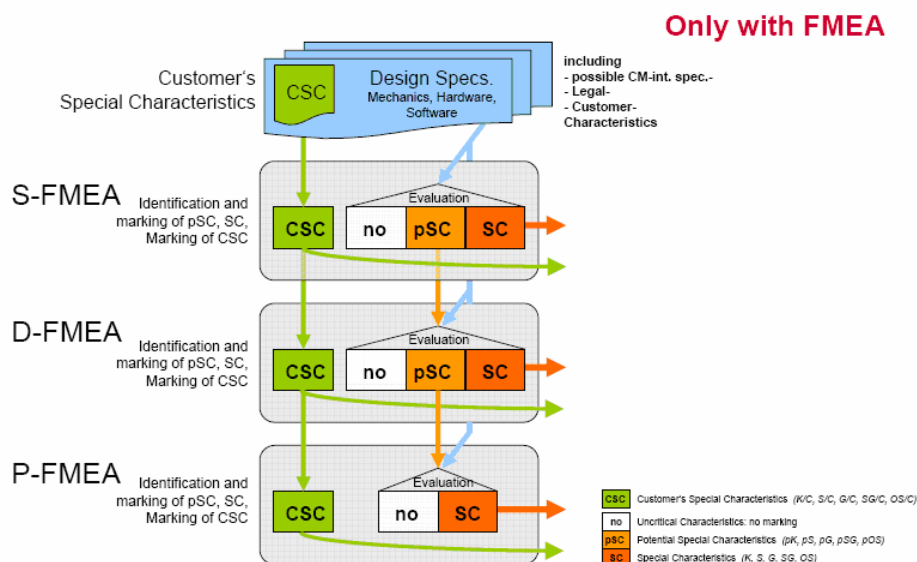


Figura 18 – Determinação das características especiais (Bosch, 2006)

A marcação das características especiais depende da tabela de classificação da severidade e da ocorrência na FMEA (Figura 19).

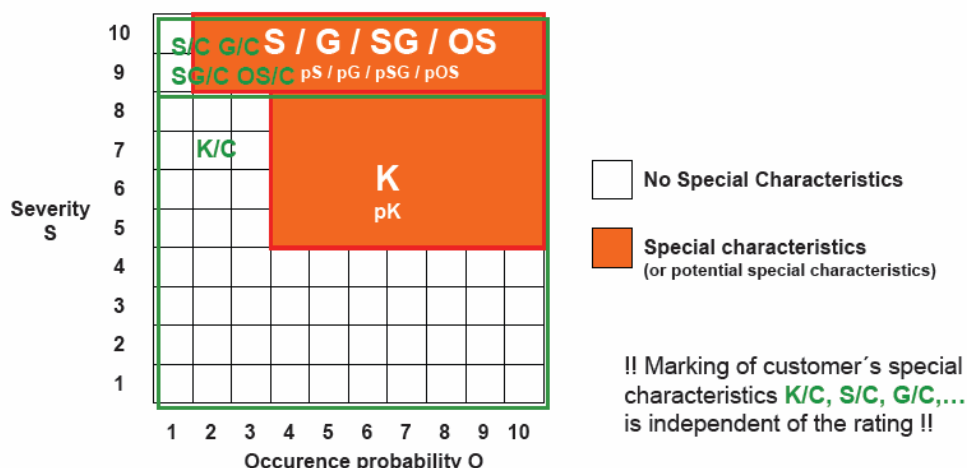


Figura 19 – Marcação das características especiais (Bosch, 2007)

3.6.8.4 Acções na FMEA com características especiais:

Tem de ser garantido que a informação marcada como características especiais é transmitida para a FMEA seguinte.

Potenciais Características especiais:

Inserção de uma acção adicional para passar a informação para a FMEA seguinte (no caso, da S-FMEA para a D-FMEA, no caso da D-FMEA para a P-FMEA):

Indicação de que a causa do potencial modo de falha é uma potencial característica especial e que a causa do modo de falha deve ser tomada e avaliada na próxima FMEA (internamente ou no fornecedor).

O responsável e os prazos para a implementação e monitorização devem ser estipulados.

Características especiais:

Inserção de uma acção adicional para passar a informação para o desenvolvimento:

Indicação de que a causa do potencial modo de falha é uma característica especial e que a respectiva marcação é necessária na documentação do desenvolvimento e nas especificações do design.

O responsável e os prazos para a implementação e monitorização devem ser estipulados.

Características especiais do cliente:

Inserção de uma acção adicional para passar a informação para a FMEA seguinte bem como para o desenvolvimento e para as compras:

Indicação de que a causa do potencial modo de falha é uma característica especial do cliente e que a respectiva marcação é necessária na documentação do desenvolvimento, nas especificações do design, nos desenhos e na próxima FMEA.

O responsável e os prazos para a implementação e monitorização devem ser estipulados.

3.6.8.5 Tratamento das características especiais:

Se as potenciais características especiais foram marcadas, por exemplo na S-FMEA ou na D – FMEA e estas não são confirmadas mais tarde na D-FMEA ou na P-FMEA na avaliação, a marcação das características especiais na S-FMEA ou na D-FMEA mantêm-se.

Características especiais internas e potenciais características especiais bem como características especiais do cliente são marcadas na FMEA de acordo com os símbolos das empresas (neste caso, do grupo *Bosch*), os símbolos dos clientes não são utilizados. Os símbolos do cliente podem ser utilizados nas apresentações aos clientes, se estes os requisitarem.

A FMEA deve estar o mais cedo possível disponível com toda a informação e acções. A coluna das características especiais é mostrada geralmente no formulário da FMEA. Potenciais características especiais ou características especiais identificadas na FMEA têm de ser documentadas na *cover sheet* da FMEA com a respectiva marcação.

Se as características especiais por exemplo, da S-FMEA ou D-FMEA não são adoptadas como características especiais na D ou P-FMEA respectivamente, estes devem ser documentados na *cover sheet* da FMEA com a respectiva marcação.

3.6.8.6 Questões para a análise das acções tomadas:

Que acções foram tomadas contra a falha?

Estão as acções evidentemente e compreensivamente formuladas?

Está o estatuto designado e actualizado para cada acção?

Foram nomeados responsáveis e prazos para todas as acções?

As acções podem ser implementadas atempadamente?

Foram os critérios de qualidade aplicados inteiramente?

Quão alto está risco actual?

Que testes e controlos são aplicáveis para o produto?

Que conhecimentos aqui aplicados podem ser utilizados para aplicações futuras (diagnósticos, manutenções, plano de testes e variáveis)?

3.7 Passo 5. Optimização

O objectivo deste passo é a melhoria do produto/processo. Determinar as acções a serem implementadas pelas pessoas responsáveis e objectivos realizáveis dentro dos prazos, avaliação e implementação das acções, eficiência e eficácia dos testes e actualizar as avaliações e a documentação.

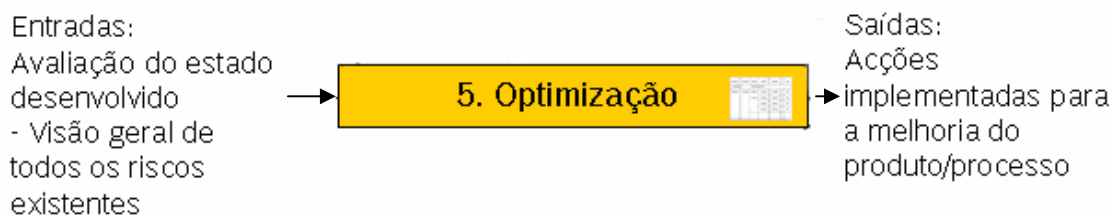


Figura 20 – Exemplo esquemático das entradas e saídas do passo 5

O objectivo das medidas de correcção é assegurar a satisfação do cliente através do alcance do desempenho desejado por estes para o produto/processo. Desde o início até ao final da produção tendo sempre em atenção a segurança, a viabilidade e a eficiência económica.

A prevenção das causas da falha e / ou a limitação dos efeitos da falha tem precedência sobre a detecção da falha. A prevenção da falha revela-se menos cara do que a eliminação da falha. Na FMEA do processo se uma falha aparece inesperadamente, é de se certificar de que ela é detectada antes da entrega dos produtos defeituosos. Na Figura 21 apresenta-se o processo de desenvolvimento interactivo (PDCA) para o desenvolvimento de produtos/processos através de acções específicas para a redução da avaliação individual S, O e D com testes de eficácia posteriores e uma nova renovação de decisões da consecução dos objectivos.

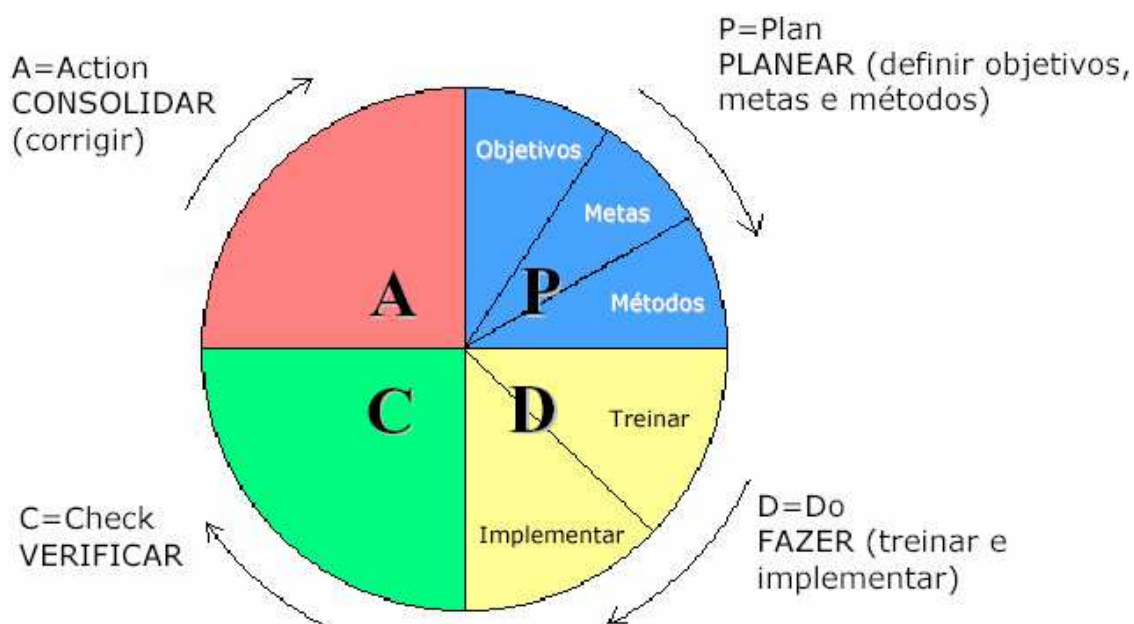


Figura 21 – Ciclo PDCA ou ciclo de Deming (1981)

3.7.1 Planeamento/definição de acções (*Plan*)

As acções devem ser planeadas e definidas de acordo com as seguintes prioridades:

As mudanças e optimizações do produto e do processo devem ser definidos para eliminar as causas do modo de falha de alto risco. A probabilidade de ocorrência

deve ser reduzida para um nível em que o produto ou processo respeite os requisitos necessários.

Ações destinadas a reduzir a significância do efeito do modo de falha devem ser planeadas para a $S > 9$, se possível. Estes são geralmente sistema de mudanças. Ações de detecção devem ser planeadas para assegurar os objectivos de qualidade.

Os associados responsáveis (R) e os prazos (D) devem ser definidos para as ações de melhoria. Para as ações previstas a classificação esperada é documentado em parênteses ().

3.7.2 Tratamento, verificação e implementação de ações (Do)

Depois das ações estarem concluídas, a sua eficácia deve ser verificada. O associado responsável pela ação informa o associado responsável pela criação/actualização do FMEA sobre os resultados e eficácia da ação. A classificação das tabelas é actualizada e as ações são implementadas ou canceladas, caso seja necessário. Resultados negativos exigem ações suplementares de optimização. A revisão deve ser documentada no FMEA de forma adequada.

3.7.3 Validação das ações (Check)

Mesmo que as ações atinjam o sucesso pretendido, elas devem ser revistas em condições realísticas. A validação pode ser realizada em conjunto com o cliente. Após a validação, as avaliações devem ser revistas.

3.7.4 Determinar a necessidade de ações suplementares actualização da FMEA (Act)

A actualização da FMEA é necessária, se:

Existirem ações em aberto;

Existirem alterações no produto ou processo;

Existir um *feedback* negativo dos O-KM ou reclamações dos clientes.

Depois da actualização, o FMEA com a *Cover Sheet* assinada é distribuída outra vez pela organização.

3.7.4.1 Questões para a optimização:

Como pode o risco ser reduzido no futuro?

Foram implementadas novas acções para os resultados insuficientes?

A eficácia das acções foi verificada e documentada?

A avaliação de risco foi actualizada depois da implementação?

Os resultados da FMEA foram comunicados e documentados?

3.7.5 Documentação típica da FMEA:

A ferramenta do software IQ-RM/IQ-FMEA suporta os utilizadores através da estruturação da compilação e avaliação da informação processada. Este programa promove um processo metódico.

3.7.5.1 Fluxograma

O “*Process Flow Diagram*” representa a sucessão de cada etapa no processo de produção em forma de diagrama de fluxo. Cada etapa do processo representa-se através de um símbolo. O IQ-RM tem à sua disposição uma extensa gama de símbolos que permite uma selecção segundo as necessidades (Figura 22). Os símbolos devem ser unidos por linhas com setas e a apresentação pode ser em forma de sucessão linear, como ramificação ou como conexão (Figura 23).

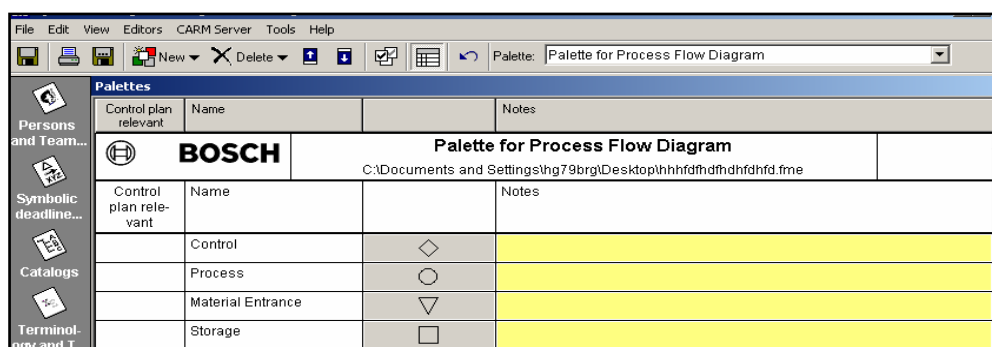


Figura 22 – Paleta de símbolos do fluxograma do IQRM

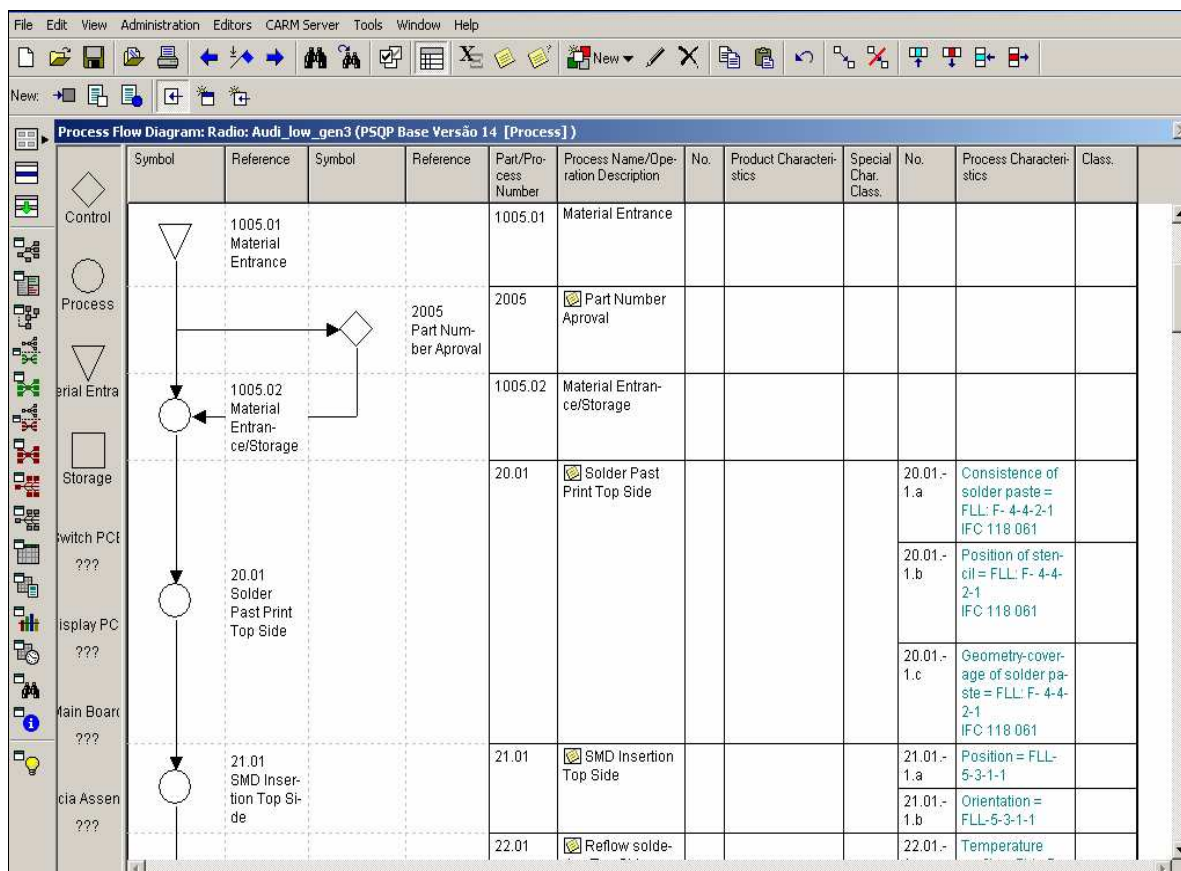


Figura 23 – Exemplo de um *Process Flow Diagram* do IQRM

3.7.5.2 Estrutura em árvore

A “*Structure Tree*” representa a estrutura do sistema em forma de árvore, que cresce da esquerda para a direita. Na árvore estão descritos todos os processos do sistema. Esta estrutura mostra ainda como o sistema completo se pode dividir em subsistemas, também denominados por elementos do sistema. A “*Structure Tree*” funcionará como PQP - Base com todas as fases relativas à entrada de materiais, processo de fabricação e controlo do produto, expedição do produto acabado bem como os testes de qualidade efectuados ao produto (Figura 24).

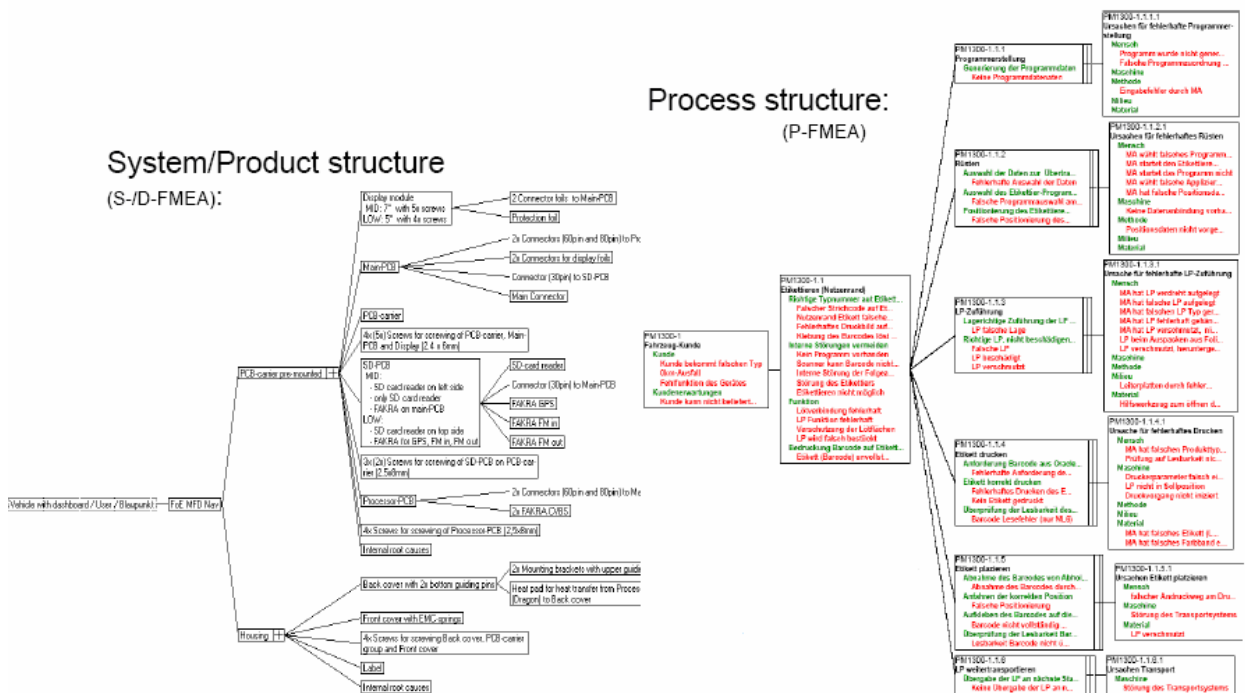


Figura 24 – Exemplo de uma estrutura em árvore do software IQRM

3.7.5.3 Formulário da FMEA

É uma técnica de análise da fiabilidade nas várias fases do projecto. Consiste num grupo de actividades sistemáticas com o objectivo de identificar e avaliar as possíveis falhas de um produto/processo e suas consequências e definir acções que podem eliminar ou reduzir a possibilidade de ocorrência de falha (Figura 25). Em cada reunião da FMEA é distribuída uma lista de presenças, que pode ser feita numa folha em separado com a indicação da data, local, duração da reunião bem como a identificação dos participantes.

IO-RM - BOSCH [10030-02] - Personal Desktop

File Edit View Administration Editors CARM Server Tools Window Help

FMEA Forms Editor Bosch: Assembly PCB on BP7 mechanism (BP7 [Process])

NO.	COMPONENT OR PROCESS	FUNCTION	FAILURE MODES	FAILURE EFFECTS	C	FAILURE CAUSES	FAILURE PREVENTION	FAILURE DETECTION	S	O	D	RPN	ACTIONS R./I:
BOSCH QUALITY ASSURANCE		PROCESS FMEA PRODUCT: BP7 ITEM CODE: 51.76, 51.77, 58.01.39, 51.78, 34.03.02, 70.08, 78, 92.03, 90.07							PAGE: DEPT.: TEF2/Bruna Barros FMEA-NO.: 51.76 DATE: 12-06-2008				
NO.	COMPONENT OR PROCESS	FUNCTION	FAILURE MODES	FAILURE EFFECTS	C	FAILURE CAUSES	FAILURE PREVENTION	FAILURE DETECTION	S	O	D	RPN	ACTIONS R./I:
51.76-1.a.1	Assembly PCB on BP7 mechanism	Positioning the PCB on the mechanism	Wrong PCB on the mechanism	The mechanism doesn't operate Scrap material (Increase FOR)		Wrong assembly - Operator mistake	IFC Operator training	Visual Inspection	8	3	6	144	
									8	1	1	(8)	The marriage between the mechanism and the PCB in the beginning of the process R: Ribeiro, António, BrgP/TEF7 D: 15-07-2008
51.76-1.c.1			PCB is damaged to ESD shock	Functional problem		Not sufficient EPA	Actions of sensibilização Continuous FSD monitoring	Protectors barriers in the entrance of production	8	1	4	32	No revision planned

Figura 25 – Exemplo de um formulário da FMEA do IQRM

3.7.5.4 Plano de controlo

Os planos de controlo descrevem as características dos produtos que se fabricam e que serão examinados em cada etapa do processo, como também especificações, tolerâncias, equipamento de teste e métodos de controlo.

Além disso, pode-se introduzir regras de conduta para respeitar as especificações (em forma de métodos de controlo e/ou planos de reacção) (Figura 26).

File Edit View Administration Editors CARM Server Tools Window Help

FMEA Forms Editor Bosch: Assembly PCB on BP7 mechanism (BP7 [Process])

Control Plan: Control plan Automatic Insertion (Antenas AUDI C6 [Process])

Part-Process Number	Process Name/Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Mfg.	No.	Product Characteristics	Process Characteristics	Product/Process Specification/Tolerance	Evaluation/Measurement Technique	Size	Freq.
<p>BOSCH Control Plan</p> <p>Prototype: <input type="text"/> Prelaunch: <input type="text"/> Production: <input type="text"/> Key Contact/Phone: <input type="text"/> Date (Orig.): 07-05-20</p> <p>Control Plan Number: <input type="text"/> Core Team: <input type="text"/> Customer Engineerin</p> <p>Part number/Latest Change Level: 8638.246.953; 8638.246.955; 8638.246.956; 8638.246.957; 8638.266.958; 8638.266.959; 8638.246.960; 8638.246.961; 8638.246.962; 8638.246.963; 8638.246.964</p> <p>Supplier/Plant: <input type="text"/> Supplier Code: <input type="text"/> Date/Other Approval (if req'd): <input type="text"/> Customer Quality Ap</p> <p>Part Name/Description: Control plan Automatic Insertion</p>									
Part-Process Number	Process Name/Operation Description	Machine, Device, Jig, Tools for Mfg.	No.	Product Characteristics	Process Characteristics	Product/Process Specification/Tolerance	Evaluation/Measurement Technique	Sample Size	Freq.
36.01	Put Label on PCB		36.01-1.a		Label presence, position and part number	= In accordance with checklist "IFC-MOE12-001" (start production, shift and after maintenance)	Visual check	1x	pe sh ste up

Figura 26 – Exemplo de um plano de controlo do IQRM

3.7.5.5 Editor de prazos

O “*Deadline Editor*” lista a pessoa responsável por cada acção individual, a data da conclusão da acção e outras informações adicionais (Figura 27).

BOSCH Plan for Deadlines of FMEA-Actions
K:\TEF\Planeamento Processos\Mecanismos\BP7\BP7.fme

QUALITY ASSURANCE

From: FMEA Type: PROCESS FMEA Dept.:
To: Product: Assembly PCB on BP7 mechanism FMEA Number:
FMEA Subject: Page:
Item Number: 51.76, 51.77, 58.01.39, 51.78, 34.03.02, 70.08, 78, 92.03, 90.07 Date:

Number	RPN Now	Action	F	RPN Target	Responsibility	D:															
						06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06			
34.03.02-1.a.1	192	Study a the possibility of prevent and/or avoid the damage of the foil	1	16	Fernandes, André, BrgP/TEF1		X														
51.76.1.a.1	144	The marriage between the mechanism and the PCB in the beginning of the process	1	8	Ribeiro, António, BrgP/TEF7		X														
51.76.1.a.3	128	Study a possible implementation of cover of the screwing to assue the correct positioning of	2	8	Fernandes, André, BrgP/TEF1		X														
51.76.1.a.2	128			8																	

Figura 27 – Exemplo de um *deadline editor* do IQRM

3.7.5.6 Avaliação estatística

O “*Statistical Editor*” fornece números e gráficos baseados na avaliação do risco com o sistema (Figura 28). Estão disponíveis as seguintes análises:

Análise de Pareto: representação da parte das falhas mais severas dentro do risco total.

Análise de diferença: mostra as melhorias da avaliação do risco através de acções concluídas e/ou o estado mais recente das acções ainda não concluídas.

Análise de frequência: distribuição de frequência do RPN com uma data.

Acções para as pessoas responsáveis: visão geral que fornece a informação de quais as acções que estão destinadas a determinadas pessoas.

Todas as avaliações podem ser ajustadas às nossas necessidades através da mudança de parâmetros.

FMEA – Ratings Frequency Statistics:

BOSCH FMEA - Ratings Frequency Statistics									
FMEA - Ratings Frequency Statistics									
Frequencies of Failure Causes and Actions									
FMEA Type: DESIGN FMEA		Product: FoE MFD Nav Mechanics		Dept: CM/MMM1		FMEA Number: D-0091a		Page: 27.03.2008	
Item Number: - 7 612 032 040 FORD NAV MFD 5"		Item Number: - 7 612 032 041 FORD NAV MFD 7"		Date: 27.03.2008					
Severity	Frequency	Occurrence	Detection	RPN	Frequency	Severity	Frequency	Occurrence	Detection
1	26	1	5	1 - 25	11	1	26	1	5
2	31	2	5	26 - 50	9	2	31	2	5
3	9	3	10	51 - 75	13	3	9	3	10
4	4	4	7	76 - 90	10	4	4	4	7
5	7	5	5	91 - 100	1	5	7	5	5
6	30	6	6	101 - 125	1	6	30	6	6
7	7	7	7	126 - 150	4	7	7	7	7
8	54	8	6	151 - 175	16	8	54	8	6
9	11	9	9	176 - 200	4	9	11	9	9
10	10	10	68	201 - 300	4	10	10	10	68
				301 - 1000	31				
Components	Functions	Failure Modes	Effects of Failure	Failure Causes	Preventive Actions	Detection Actions	Actions		
2	21	47	92	102	126	100	209		

FMEA – Summary:

BOSCH FMEA Summary									
FMEA Summary									
Number of Failure Causes and Timing of Actions									
FMEA - Ratings Frequency Statistics									
FMEA Type: DESIGN FMEA		Product: FoE MFD Nav Mechanics		Dept: CM/MMM1		FMEA Number: D-0091a		Page: 27.03.2008	
Item Number: - 7 612 032 040 FORD NAV MFD 5"		Item Number: - 7 612 032 041 FORD NAV MFD 7"		Date: 27.03.2008					
Start of Production Date:									
Number of	Completed	I 2008	II 2008	III 2008	IV 2008	I 2009	II 2009	III 2009	Sum of Rows
Failure Causes without Actions	10								
Actions for O ≤ RPN ≤ 125 S, O and D ≤ 8	2								2
Actions for O ≤ RPN ≤ 125 S, O or D > 8									
Actions for 125 < RPN ≤ 200									
Actions for 200 < RPN ≤ 300									
Actions for RPN > 300	5								5
Total of Columns	7								7
									15

Frequency Analysis:
(recommended)

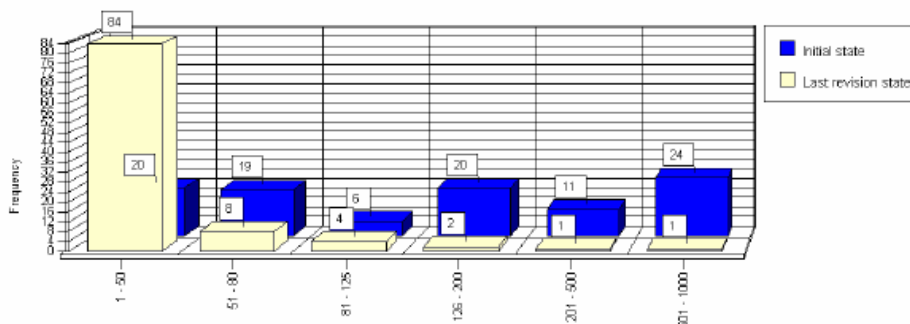


Figura 28 – Exemplo de *statistical editors* do IQRM

3.7.5.7 Capa

Uma “*Cover Sheet*” contém diferentes secções e colunas nas quais se pode inserir informação ou que já contém informação da FMEA que foi inserida automaticamente mas que pode ser modificada (Anexo 4).

Regulamentação das assinaturas:

O protocolo da FMEA é feito dos documentos requeridos, depois da conclusão das reuniões da FMEA e conta com as assinaturas das partes responsáveis.

Na primeira versão da FMEA, a *cover sheet* é assinada pelo moderador, pelo líder do projecto, pelos membros da equipa e pelos chefes dos departamentos responsáveis. Com as suas assinaturas eles aprovam o documento, as suas avaliações e prazos definidos na FMEA.

Se a FMEA é sujeita a revisão, o processo de assinaturas completo deve ser iniciado outra vez.

A actualização da FMEA é sujeita a um processo reduzido de assinaturas (moderador e pelos membros da equipa). O líder do projecto também pode ser um dos membros da equipa de trabalho. A aprovação das outras pessoas responsáveis é documentada com a marca “assinada” e com a data do anterior processo de assinaturas.

3.7.6 Arquivo da FMEA

Depois da conclusão da FMEA a cópia é guardada pelo moderador em formato de papel e em formato digital. Para o formato digital todos os documentos devem ser armazenados em PDF. O local onde estão guardados e armazenados os dados são mencionados na *cover sheet*.

3.7.7 Actualização, revisão e conclusão da FMEA

Depois de distribuída cada FMEA deve ser verificada periodicamente, não mais tarde do que doze meses, para verificar se ainda está tudo actualizado; isto aplica-se enquanto o produto estiver em produção.

Uma actualização/revisão pode acontecer como consequência de uma alteração na produção. Depois a FMEA deve ser comparada com o último estado do produto.

Relatórios de 0km actualizados, novos itens na lista de prevenção de recorrência e relatórios da qualidade devem ser revistos. Dependendo do requisitos do cliente o prazo de revisão pode ser mais curto.

Uma actualização ou revisão da FMEA acontece:

Sempre que se verifiquem alterações no processo ou produto;

Defeitos 0km ou campo, as acções têm que ser reavaliadas;

Quando existem alterações na melhoria de qualidade;

Novos requisitos do cliente.

A revisão é marcada pela contínua actualização da versão, por exemplo: versão 2.0, versão 3.0. Uma FMEA actualizada ou revista é distribuída pelos participantes através do *Outlook*.

3.8 Análise e avaliação da metodologia existente na Bosch

Nesta secção é feita uma análise crítica à metodologia existente da elaboração das FMEA's na *Bosch*.

Os principais problemas da metodologia de elaboração da FMEA são os seguintes:

As tabelas de classificação são demasiado subjectivas; deveriam ser criadas tabelas de classificação com exemplos práticos e com informação mais detalhada para diminuir a subjectividade, especialmente na FMEA do processo;

A sistemática da FMEA diz que o modo de falha é causado por outras falhas e que vão existir efeitos das falhas e que isto é independente da probabilidade. Mas a realidade, é que devemos ligar os possíveis efeitos da falha com as causas. A severidade vem do efeito mais crítico, independentemente de termos uma boa ou má detecção e prevenção. Ou seja, S=9 é utilizada para não conformidade com as regras legais e a S=10 é utilizada para perigo de vida sem que tenha um aviso prévio. E não nos podemos esquecer que uma operação manual é sempre crítica seja em que processo for;

A distinção entre prevenção e detecção não é bem clara quando falamos de casos mais práticos, por exemplo, quando uma acção é feita de uma maneira preventiva (um período de tempo definido e sistemático) através de uma detecção, temos sempre a dúvida se devemos considerar uma detecção ou uma prevenção ou ambos;

O objectivo de todas as organizações é dar prioridade à prevenção e não à detecção;

As acções devem ser colocadas e aplicadas para reduzir ou eliminar a probabilidade da falha, e não simplesmente para baixar o valor do RPN, por isso é tão importante a verificação da eficácia das acções;

É importante também que todos os participantes percebam a potencialidade deste método e não o vejam apenas como documentação de gaveta.

Para além do referido anteriormente, a realização da FMEA exige tempo e pessoas, uma vez que, elas são elaboradas em equipa, ou seja, as empresas têm de estar preparadas para disponibilizar tempo para que o trabalho seja elaborado.

Esta ferramenta resulta de uma maior necessidade de *skills* e formação, para sere aplicada eficientemente, uma vez que a organização deve garantir continuamente a melhoria dos seus processos e implementar um sistema para identificar e gerir os projectos de melhoria. A melhoria contínua é um processo de resolução de problemas. As acções implementadas devem ser monitorizadas para garantir o cumprimento das metas inicialmente previstas.

Uma equipa de pessoas com diferentes *backgrounds*, comprometidas com a melhoria continua da qualidade tem muitas vantagens para a FMEA, pois o conhecimento e experiência dos diferentes associados são utilizados e a comunicação e cooperação é suportada. No entanto, se os sistemas não estiverem preparados para sustentar a análise de FMEA, a empresa não obterá o máximo benefício dela.

Por outro lado, sem dados viáveis sobre um produto ou processo, a FMEA torna-se um “jogo do adivinha” baseado nas opiniões ao invés de se basear em factos reais, o que pode resultar na perda de oportunidades significativas de melhorar os modos de falha, por ter estado focado num modo de falha errado.

Stamatis (1995) afirma que, a conduta da FMEA permite melhorar a imagem da organização e a sua competitividade, ajuda a aumentar a satisfação dos clientes, reduz tempo e custos de desenvolvimento do produto, ajuda a seleccionar o sistema de design óptimo, estabelece a prioridade para as acções de melhoria do design, identifica características críticas ou significativas, auxilia na identificação e prevenção de falhas, assim como, na definição de acções correctivas, identifica redundâncias, assegura que todas as falhas concebíveis e os seus esforços no sucesso operacional sejam considerados.

4 Sobre a FMEA do processo

Neste capítulo, aborda-se especificamente a criação da FMEA do processo, a tipologia com maior importância para este projecto na *Blaupunkt* e correspondente elaboração da dissertação.

4.1 Definição da PFMEA

Este tipo de FMEA é usado na análise de processos de produção. Neste são consideradas as falhas provenientes da execução do processo, modos de falha provocadas por deficiências na manufactura.

Para Stamatis (1995), FMEA de processo define necessidades de alterações no processo, estabelece prioridades para as acções de melhoria, auxilia na execução do plano de controlo do processo e na análise dos processos de produção.

A FMEA do processo é um método disciplinado de identificação de modos de falha e providencia a actualização e acções correctivas antes que a primeira produção ocorra. É um processo dinâmico e evolutivo. Envolve a aplicação de várias tecnologias e métodos para produzir um *layout* efectivo do processo. O resultado pode ser um produto livre de defeitos ou pode ser utilizado como *input* para o produto, montagem, e/ou a FMEA do serviço.

Os requisitos dos clientes, a utilização de um sistema já existente, a uniformização de abordagens e/ou procedimentos já conhecidos ou propostos, resultados directos de pesquisa, resultados da design FMEA, ou uma combinação de todos os factores acima mencionados, podem ajudar na selecção de tecnologias apropriadas (Stamatis, 1995).

A FMEA do processo é realizada basicamente através do engenheiro do processo, do desenvolvimento do produto, pela qualidade, *marketing*, pela produção, ou pela combinação de todas essas entidades. O objectivo de todos os participantes é a produção de produtos que excedam ou satisfaçam a segurança e qualidade do mesmo e a satisfação do cliente. Para conseguir atingir esses objectivos um dos documentos essenciais da FMEA de processo é a FMEA do design. É extremamente difícil fazer uma FMEA do processo sem a informação da FMEA do design.

A verdade contudo, é que é muito complicado avaliar todo o processo de produção nos seus estágios iniciais. Na maioria dos casos, a realidade é que a evolução

do processo da FMEA se desenvolve depois do tempo. A FMEA do processo transforma-se num documento vivo pois reflecte todas as alterações de processo e pode ser sempre reaberto e actualizado.

Normalmente, são utilizados dois tipos de técnicas de avaliação do processo nos estágios iniciais:

1. Estudos de capacidade do processo. Estes estudos são utilizados para determinar a capacidade inerente de elementos específicos do processo produtivo, como, por exemplo a capacidade de um equipamento.
2. Avaliação obrigatória do processo. Como é difícil avaliar todas as variáveis do processo, cada empresa estabelece pontos de avaliação obrigatórios para tarefas que são críticas para a operação e/ou para o cliente. Eles podem ser ajudados para esta identificação, pelos:

- Requisitos do cliente;
- Regulamentos governamentais;
- Orientações (*Guidelines*) internas de engenharia;
- FMEA do design;
- Orientação estandardizadas da indústria;
- Leis sobre a viabilidade do produto;

Alguns dos pontos de avaliação podem ser:

- Certificação dos operadores;
- Revisão das ferramentas e validação de instalações;
- Processos críticos;
- Testes de operações;
- Instruções de Fabrico e Controlo (IFC).

Como já tinha sido mencionado anteriormente, a meta da FMEA do processo é definir, demonstrar, e maximizar as soluções de engenharia em resposta à qualidade, viabilidade, manutenção, custo, e produtividade da FMEA do design e do cliente.

O importante nesta definição é que não se pode enfatizar um dos elementos à custa dos outros. Todos os elementos devem ser explorados ao máximo para que possamos retirar todos os benefícios do processo.

Esta definição vai ajudar a organização a definir o seu processo e a mostrar a forma como esta se vê posicionada no mercado. Esta define nichos de mercado que nos permite a diferenciação de produtos e/ou serviços.

Para a FMEA do processo conseguir atingir este objectivo deve basear os seus requisitos em necessidades sólidas, vontades, e expectativas do consumidor.

Geralmente, essa informação deve resultar da casa da qualidade, ou de necessidades internas de melhoria, ou de resultados da FMEA do design. No entanto, deveria fazer-se um estudo de viabilidade e/ou uma análise do risco/benefício dirigido para as soluções do problema, no início da FMEA do processo para qualquer um dos casos anteriores.

4.1.1 O objectivo de começar o mais cedo possível a FMEA do processo é para otimizar:

O sistema de qualidade;

O custo (porque se ocorrerem alterações fica mais barato e menos complicado no início do processo);

Produtividade e manutenção;

Transformação de uma necessidade operacional em uma descrição de parâmetros de desempenho do processo;

Integração de todos os parâmetros técnicos que asseguram a compatibilidade de todo o meio físico, funcional, e o programa; até certo ponto, isso aperfeiçoa a definição total do processo e da produção;

Integração de todas as especialidades relacionadas com o esforço total de engenharia (manutenção, suporte de engenharia, factores humanos, segurança, integridade estrutural, produtividade).

O resultado da FMEA do processo é um processo robusto baseado numa configuração de especificações funcionais para traduzir as necessidades estabelecidas para o produto em detalhes qualitativos e quantitativos e em características de montagem ou características de serviço (Stamatis,1995).

4.1.2 Algumas das preocupações da FMEA de processo:

Requisitos operacionais do processo definidos;

Factores de eficácia estabelecidos;

Conceito do processo de manutenção definido;

4.1.3 Elementos de suporte

Tem que se fazer uma investigação completa de elementos de apoio sobre se ou não as necessidades são conhecidas e/ou podem ser aperfeiçoadas para:

- Equipamentos de teste e suporte;
- Pessoal e formação;
- Reparação e peças sobresselentes;

4.1.4 Critérios do processo

- Normalização;
- Providências necessárias para testes;
- Permutabilidade;
- Acessibilidade;
- Controlos;
- Dados técnicos, procedimentos;
- Produtividade;
- Segurança;
- Viabilidade;
- Software;

Quando se modera uma FMEA de processo assume-se que o design está definido da melhor forma possível. É necessário que se foque no ênfase da FMEA do processo e não nos problemas de design se não vamos andar as voltas e acabamos por realizar em simultâneo duas FMEA's e ambas incompletas.

A única forma de tratar de problemas de design na FMEA do processo é quando os modos de falha do processo têm origem em especificações do design.

4.2 Passo a passo da análise da FMEA do processo

Existem dois requisitos necessários para elaborar FMEA de processo:

- Identificação do formulário adequado;
- Identificação das tabelas de classificação;

O formulário da FMEA não é universal, nem único (Anexo 5). Cada empresa tem o seu próprio formulário que reflecte as necessidades da organização e do cliente (Anexo 6). Bem como as tabelas de classificação da severidade, ocorrência e detecção variam de empresa para empresa.

4.3 Colaboração com os clientes e com terceiros

Os requisitos do cliente de acesso á FMEA ou para criar o produto ou o processo FMEA juntamente com a *Bosch* são sujeitos á directiva de vendas “Comunicação com o cliente acerca de FMEA/DRBFM/Plano de controlo” (CDQ 0305) e a directiva *Bosch* “Liberação de Informações Secretas a Terceiros” (RB/GF 108/A4). Durante inspecções / auditorias, o cliente pode verificar as FMEA's relevantes para o seu projecto.

4.3.1 FMEA em conjunto com os Clientes

A FMEA é criada em conjunto com os clientes através de uma interacção funcional entre as funções de entrada e de saída da *Bosch* e os componentes e requisitos dos clientes (CDQ 1105). A equipa da FMEA pode ser liderada pela *Bosch* ou por moderadores dos clientes.

Para ser alcançada uma boa preparação e estruturação da FMEA, esta deve ser criada em conjunto. No início, as duas partes têm que chegar a acordo sobre a classificação dos rácios e características especiais (CDQ 0306). Os requisitos dos clientes com respeito ao conteúdo da FMEA têm de ser considerados.

A criação da FMEA de um produto (sistema e / ou interfaces), em conjunto com o cliente deve ser aprovado pela autoridade competente (por exemplo, líder do projecto) dentro da divisão.

4.3.2 FMEA do Produto: Excertos dos clientes

Se não houver uma FMEA do produto, criada em conjunto com o cliente, o departamento de vendas transforma excertos da FMEA do cliente a tempo de os encaminhar para o associado responsável pela componente / produto.

Se não houver uma FMEA do cliente, então faz sentido discutir o nosso rascunho com o cliente (CDQ 1105).

4.3.3 Apresentação da FMEA aos clientes

As apresentações da FMEA para clientes são organizadas pelo departamento de vendas. A apresentação será realizada pelo departamento responsável pela FMEA. Para a FMEA do produto, é normalmente o departamento de desenvolvimento, o responsável. Para a FMEA do processo, é normalmente, o departamento da tecnologia de produção, o responsável. O departamento da qualidade deve ser mantido informado.

Quando a FMEA é apresentada pela primeira vez, o procedimento geral da Bosch para a criação e classificação das FMEA's devem ser explicados. Além disso, se tal lhe for solicitado pelo cliente, a definição e identificação de "características especiais" (CDQ 0306) podem ser apresentados.

Versões actualizadas ou pequenas mudanças desde a apresentação inicial podem ser apresentadas ao cliente pelo gestor do projecto / departamento de vendas, durante o desenvolvimento geral das reuniões, por exemplo.

Avaliações da FMEA como a calendarização, resumo ou frequência de análise podem ser dadas ao cliente caso seja solicitado.

4.3.4 Colaboração com fornecedores

A linha de orientação (*guideline*) da *Bosch* para as "Compras" (RB/GF 169/A3) constitui a base para a colaboração com os fornecedores. Os seus fornecedores estão empenhados num acordo de estrito comprometimento em relação à qualidade do produto. Isto também inclui o requisito da *Bosch* "qualidade de ser fabricadas, a não ser testados". Uso do princípio "Evite defeitos prevenindo-os" e utilização de um sistema eficaz de qualidade por parte do fornecedor são a base para a colaboração (CDQ 0609). De forma a assegurar a qualidade das peças compradas, a *Bosch* exige que os seus fornecedores criem e apresentem as suas FMEA's.

O objectivo de uma estreita colaboração com os fornecedores é a melhoria continua da qualidade para atingir a meta dos "zero defeitos". Para este efeito, partes da FMEA que sejam relevantes para o fornecedor podem lhes ser entregues, em especial para assegurar a continuidade da informação, sobre os efeitos dos modos de falha e sobre avaliações da FMEA do produto para a FMEA do processo. Se os excertos da

FMEA da Bosch estão sujeitos a uma cláusula protecção do conhecimento (*know-how*), então um acordo confidencialidade/reserva de todos os direitos deve ser assinado (C/AS corporate directive R05/05).

Os rácios de classificações, bem como o procedimento para lidar com características especiais (CDQ 0306) devem ser especificados em conjunto com os fornecedores.

4.3.5 Procedimento para a FMEA do produto

Depois do fornecedor criar o projecto, o departamento de desenvolvimento da *Bosch* solicita uma reunião com os seus associados (do desenvolvimento, das compras, da qualidade) para analisar e discutir a FMEA do produto com o fornecedor.

4.3.6 Procedimento para a FMEA do processo

Depois do fornecedor ter planeado o processo de fabrico, o departamento das compras da *Bosch* solicita uma reunião com os seus associados (fabrico de engenharia, garantia de qualidade, das compras) para analisar e discutir a FMEA do processo com o fornecedor.

4.3.7 Dados da FMEA fornecidos pela *Bosch* como cliente

Produto, sub – montagem e parte dos desenhos;
Especificações da *Bosch* e uma lista das potenciais características especiais;
Especificações/referências sobre a aplicação específica de um modo de falha e os seus efeitos (excertos da FMEA da Bosch, caso seja necessário);
Prazos para a criação e discussão da FMEA.

4.3.8 Colaboração com prestadores de serviços externos (moderadores externos de FMEA)

Prestadores de serviços externos (moderadores externos da FMEA) são fornecedores que afectam a qualidade dos produtos, directa ou indirectamente. Isto requer uma cuidadosa selecção de prestadores de serviços externos, baseada na linha de orientação (*guideline*) da *Bosch* "Decisões sobre contratar fornecedores internos

versus contratar fornecedores externos" (RB/GF 146/A3) e na linha de orientação da *Bosch* "Lançamento de classificados de conformação a terceiros" (RB/GF 108/A4).

Decisões sobre contratar fornecedores internos ou externos são particularmente decisivas por razões de competitividade e pelo sucesso empresarial. Elas afectam significativamente o desenvolvimento e protecção do *know-how* das empresas.

As capacidades das empresas referem-se aos processos, produtos e serviços. Um factor significativo é a competência fundamental que garante vantagens competitivas. É baseada no *know-how* específico (conhecimento, mas também capacidades) e está disponível apenas no mercado numa base limitada.

Capacidades fundamentais geralmente têm um efeito dominante sobre a função, a qualidade e o custo da tarefa a ser realizada. Por esta razão, não podem ser comunicados aos concorrentes, e na colaboração com terceiros deve ser usada uma politica de protecção rigorosa, através da celebração de acordos. Para competência fundamental (*know-how* de desenvolvimento e produção) têm sido preferidos os fornecedores internos. Excepções devem ser aprovadas pela gestão da empresa. As razões para excepções devem ser documentadas.

As FMEA's só podem ser moderadas e traduzidas por prestadores de serviços externos que tenham assinado um acordo protecção.

5 Breve referência às normas ISO 9000 e QS 9000

Com a globalização do mercado, as empresas cada vez mais lutam pela sobrevivência e é imprescindível que os produtos e serviços comercializados tenham, não só, a qualidade exigida pelos consumidores, como também, um custo mínimo para as empresas. A proliferação de normas que abordam a gestão da qualidade (ISO 9000 e QS9000) vê de maneira objectiva as acções pró-activas, de forma a minimizar os prejuízos e desperdícios na organização. A FMEA é uma ferramenta que se for utilizada correctamente pode atender aos requisitos específicos de prevenção destas normas. Este capítulo procura descrever a aplicação da FMEA nestas diferentes normas: ISO9000 (mais detalhadamente a ISO/TS 16949 e a ISO 19011) e a QS9000.

O manual complementar da FMEA (Ford, 1994) da QS9000 descreve como um grupo sistemático de actividades, comprometidos com:

1. Reconhecer e avaliar o potencial de falha de um produto/processo e seus efeitos;
2. Identificar acções que podem eliminar ou reduzir as hipóteses de uma falha potencial ocorrer;
3. Documentar o processo.

A aplicação da FMEA é um requisito indispensável conforme a norma ISO / TS 16949: 2002, constituindo assim um dos principais motivos para a divulgação desta técnica e conduzindo à necessidade de implementar a FMEA numa empresa. No entanto, para implementar a FMEA numa empresa é necessário primeiramente conhecer os processos. Juntamente a isso é indispensável o comprometimento da equipa, assim como organização de dados e informação. A FMEA pode ser usada em todos os estágios do ciclo de vida do produto.

A norma QS – 9000 especifica a FMEA como um documento necessário para um fornecedor submeter um produto, assim como, requer fornecedores para a indústria automóvel que conduzam a FMEA (“Failure Mode and Effect Analysis”) de produto, design, e processo, com o objectivo de eliminar falhas antes de elas ocorrerem (Macdermott, Mikulak, Beauregard, 1996) através do estudo de todos os modos em que o processo ou produto pode falhar.

5.1 Descrição das normas

5.1.1 Normas ISO 9000

Em 1987, a Organização Internacional para a Normalização, ISO, publicou um conjunto de normas que estabelece um sistema para gestão e garantia da qualidade, tanto para produtos quanto para serviços.

A certificação ISO 9000 significa que uma empresa é capaz de controlar o processo que determina a aceitabilidade do seu produto. Muitos clientes requereram aos seus produtores a certificação da ISO 9000, mas também muitos produtores optaram por implementar esta certificação por eles próprios.

A maioria das organizações fizeram um esforço para serem certificadas, porque acharam que o processo era um excelente modo de avaliar o sistema de qualidade implementado, identificar as falhas e desenvolver e implementar planos para diminuir ou eliminar a ocorrência dessas falhas. O objectivo dessas normas é a garantia da estabilidade e uniformidade de um processo produtivo.

O certificado ISO-9000 é documento indispensável para qualquer empresa no comércio internacional pois serve como passaporte para aqueles que querem comercializar os seus produtos nos países que adoptaram a norma ISO.

Um dos requisitos mais importantes da ISO 9000 é que a empresa se comprometa no planeamento da qualidade. Na reunião dos requisitos específicos dos produtos, projectos ou contratos, os fornecedores têm que levar em consideração, entre outras coisas, o seguinte:

“.....ensuring the compatibility of the design, the production process, installation, servicing, inspection and test procedures, and the applicable documentation...”

A família *standard* da ISO 9000 listada abaixo, tem sido desenvolvida para prestar assistência às organizações, de todos os tipos e tamanhos, para operar e implementar sistemas de gestão de qualidade efectivos (ISO 9000:2000).

ISO 9000:2000 – Descreve as bases do sistema de gestão de qualidade e a terminologia específica para os sistemas de gestão de qualidade.

ISO 9001:2000 – Requisitos específicos para o sistema de gestão de qualidade onde uma organização precisa de demonstrar a sua capacidade para providenciar produtos que satisfaçam o cliente.

ISO 9004: 2000 – Providencia *guidelines* que consideram a eficácia e eficiência do sistema de gestão de qualidade. Esta norma pretende que o *standard* seja implementado para um melhor desempenho da empresa e maior satisfação do cliente.

ISO 19011:2002 – Providencia *guidelines* para auditorias da qualidade e gestão de sistemas ambientais.

A ISO 19011:2002, fornece orientação nos princípios da auditoria, programas de controlo de auditoria, auditorias de sistemas de conduta de gestão da qualidade e auditorias de sistemas de gestão ambiental. É aplicável a todas as organizações que necessitam de auditoria de conduta interna ou externa de sistemas de gestão de qualidade e /ou ambiental ou de gerir um programa de auditoria.

Segundo Griffith (2000) auditoria da qualidade é uma avaliação planeada e documentada de um sistema, produto, ou processo que é usualmente realizado por um auditor da qualidade independente ou equipa de auditores. A auditoria pode ser usada para determinar a eficiência do sistema da qualidade, verificar a qualidade de um produto, medir os resultados, identificar áreas a melhorar, melhorar problemas de qualidade, satisfazer os requisitos do cliente, e melhorar a qualidade de abastecimento.

Os critérios de auditoria são um conjunto de políticas, procedimentos ou exigências (ISO 19011:2002, 2002). As séries ISO 9000 e ISO 14000 (norma de gestão ambiental), enfatizam a importância das auditorias como uma ferramenta de gestão para monitorizar e verificar a implementação efectiva da qualidade de uma organização e/ou política ambiental. As auditorias são também uma parte essencial de avaliação de actividades de conformidade, como o certificado/registo e fornecimento de uma sequência de avaliação e fiscalização (ISO 19011:2002, 2002).

Na Figura 29 estão representadas as etapas típicas de uma auditoria, assim como a sequência pela qual são realizadas.

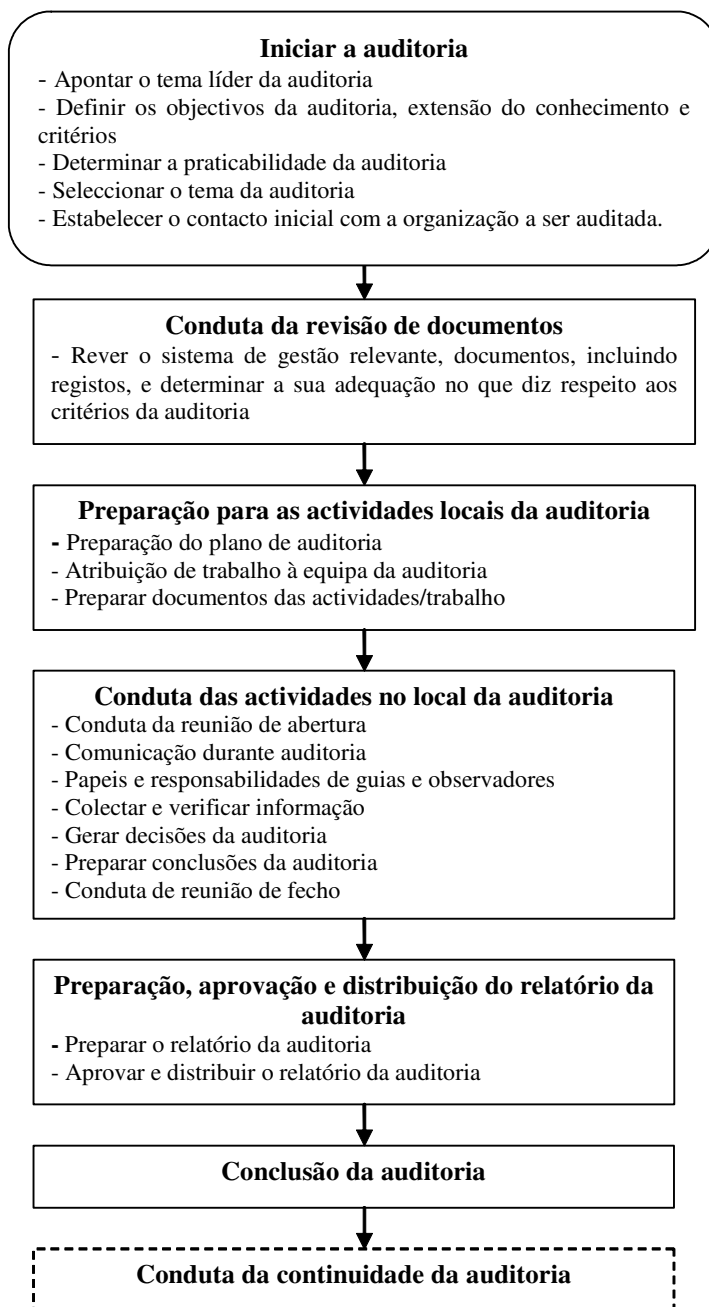


Figura 29 – Visão geral das actividades típicas de uma auditoria (ISO 19011:2002 – “Guidelines for quality and/or environmental management systems auditing”, 2002)

5.1.2 Análise crítica às Auditorias

A experiência tem mostrado que os sistemas de controlo estão sujeitos a falhas de todas as espécies. A rotatividade do pessoal pode resultar na perda de conhecimentos essenciais. A ocorrência de mudanças imprevistas pode resultar em obsolescência. Os

atalhos e o mau uso podem degradar gradualmente o sistema, até que ele não seja eficaz. Uma forma de proteger um sistema de controlo contra a deterioração tem sido a auditoria (Juran, 1992).

Griffith, (2000) defende que os benefícios da auditoria da qualidade são numerosos, entre os quais, promovem uma linha de avaliação para propor melhorias, ajudam a prevenir as reclamações dos clientes, servem para identificar operações específicas que requerem melhorias, fornecem informação, na qual, as decisões de gestão se podem basear. No entanto as auditorias podem ser, tanto ferramentas poderosas para ajudar a encontrar melhorias significativas, como um completo desperdício de tempo, se não forem planeadas e conduzidas correctamente. A auditoria envolve um período de tempo considerável, esforço e despesas, que são mais compensatórios quando as melhorias são realizadas na qualidade e produção, permitindo também ajudar a definir os objectivos e política da qualidade da empresa, assim como, ir ao encontro das exigências dos cliente.

ISO/TS 16949:2002 – Requisitos particulares para a aplicação da ISO 9001: 2000 para a indústria automobilística e para partes relevantes dos serviços organizacionais.

A ISO/TS 16949:2002 é uma norma que se baseia e desenvolve princípios de Gestão da Qualidade e disponibiliza linhas de actuação às organizações para que melhorem o respectivo desempenho. É a norma mais actual referente aos requisitos das indústrias automóvel e aplica-se a todas as empresas que produzem produtos/serviços para indústrias do ramo automóvel. Esta norma actualmente é um pré-requisito para empresas que fornecem ou pretendem fornecer produtos/serviços para indústrias automóvel. Segundo a ISO/TS 16949:2002, é uma norma que especifica os requisitos para um sistema de gestão de qualidade:

Evidencia capacidades da organização para fornecer consistentemente produtos que reúnam clientes e requisitos regularmente aplicáveis;

Define metas para realçar a satisfação do cliente, com uma aplicação eficaz do sistema, incluindo processos para a melhoria contínua do sistema e a garantia da conformidade com o cliente e com exigências regularmente aplicáveis.

Esta especificação técnica, em conjugação com a ISO 9001:2000, define os requisitos do sistema de gestão de qualidade para a concepção e desenvolvimento,

produção e, quando relevante, instalação e serviço de produtos associados ao ramo automóvel. Pode ser aplicada ao longo de toda a sequência de produção automóvel.

A ISO/TS 16949:2002 também apoia funções, assim como, partes do formulário de auditoria ao processo. No entanto, não lhe é permitida obter certificação autónoma, apenas com esta especificação técnica. Todos os requisitos desta norma são genéricos e são entendidos como sendo aplicáveis a todas as organizações, não obstante o tipo, o tamanho e produto fornecido.

É de salientar que, esta norma também fornece uma orientação para o TQM ("Total Quality Management"), dando ênfase ao conceito de melhoria contínua. Os objectivos da ISO/TS 16949:2002 visam a melhoria contínua do sistema de gestão da qualidade através da prevenção de defeitos e redução dos desperdícios e, evita a necessidade da empresa implementar vários sistemas da qualidade para satisfazer requisitos de diversas empresas do ramo automóvel. Todas juntas proporcionam um conjunto coeso de normas para a uniformização dos sistemas de gestão de qualidade e facilitam o mútuo entendimento entre empresas nacionais e internacionais.

5.1.3 Norma QS – 9000

Com a proliferação das normas da família ISO 9000 em todo o mundo, a indústria automobilística, por sua iniciativa, desenvolveu um sistema de qualidade baseado na estrutura da ISO 9000. Este sistema é capaz de satisfazer os padrões internacionais e os requisitos individuais de produtos das empresas, e, ao mesmo tempo, pode proporcionar uma harmonização de todos os padrões e requisitos colectivos da sua rede de fornecedores.

O sistema é encontrado no *Quality System Requirements* (Requisitos do Sistema da Qualidade): *QS-9000*. Este foi desenvolvido com o objectivo de uniformizar os sistemas de qualidade e fornecer ferramentas de avaliação dos fornecedores. Em 1980, a Chrysler, Ford e General Motors, conhecidos como "Os Três Grandes" ("*Big Three*"), iniciaram conversações sobre a criação de um sistema através do qual todos os seus requisitos pudessem ser uniformizados. As negociações resultaram na formação do Grupo de Acção da Indústria Automobilística (AIAG – *Automotive Industry Action Group*). A função desse grupo foi e continua a ser, o desenvolvimento de sistemas uniformizados para a indústria automobilística em geral. A QS-9000 substitui, especificamente, o *Supplier Quality Assurance Manual* (Manual da Garantia da Qualidade do Fornecedor) da Chrysler, o *North América Operation's Targets for Excellence* (Alvos da Operação para a

Excelência da América do Norte) da General Motors, e o *Q 101 Quality System Standard* (Padrão do Sistema da Qualidade Q 101) da Ford.

A aplicabilidade da QS 9000 estende-se a todos os fornecedores internos e externos de produção, serviços e materiais.

Em muitos casos, a QS-9000 define acções específicas requeridas para satisfazer e preencher os requisitos da ISO. As cláusulas relativamente as FMEA's na QS-9000 uniformizada providenciam um excelente exemplo de como os dois *standards* funcionam em conjunto. No caso da cláusula na ISO referida anteriormente, a QS-9000 interpreta e completa os requisitos da ISO 9000 dizendo que:

“Suppliers shall establish and implement an advanced product quality planning process. Suppliers should convene internal cross-functional teams to prepare for production of new or change products”

O *standard* da QS-9000 diz que as acções da equipa deveriam incluir (de entre outras coisas):

Desenvolvimento e revisão das FMEA's;

Estabelecimento de acções para reduzir potenciais modos de falha com altos riscos.

O *standard* QS-9000 também convida claramente os fornecedores a usarem a FMEA de processo para melhorar o processo para prevenir o defeito em vez de detectar o defeito.

Muitas organizações estão a adoptar a FMEA para irem ao encontro dos requisitos da QS-9000 da industria automóvel, mas depois apercebem-se como as FMEA's são valiosas para qualquer tipo de negócio, produção ou serviço, no design, desenvolvimento e ao mesmo tempo vão melhorando o seu processo ou produto.

6 Análise da FMEA com outras Técnicas

6.1 Introdução

A crescente necessidade de melhorar a qualidade de produtos e a satisfação dos clientes tem popularizado vários métodos e técnicas que visam melhorar a fiabilidade de produtos e processos. Como referido anteriormente, de entre estas técnicas destaca-se a FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), que actualmente é amplamente utilizada nas indústrias, em grande parte devido às exigências de normas de qualidade, tais como a ISO 9000 e a QS 9000.

Neste capítulo, abordar-se a interacção entre a FMEA e outras técnicas de qualidade como o *Process Quality Plan* (PQP), *Problems Resolution Method* (8D), *Statistic Process Control* (SPC), Inspeções e Auditorias do produto/processo, *Fault Tree Analysis* (FTA), diagrama de causa – efeito, *brainstorm/brainwriting*, *Quality Function Deployment* (QFD) e o fluxograma. Para cada uma das referidas técnicas de qualidade apresenta-se uma breve descrição, os seus objectivos e como interagem ou deveriam interagir com a FMEA, para esta alcançar toda a sua potencialidade.

6.2 Plano de Controlo (PQP)

O Controlo da Qualidade tem etapas específicas que podem ser consideradas universais; estas etapas estão descritas por Juran (2000) e foram reproduzidas na Figura 30.

O plano de controlo de qualidade (*Process Quality Plan*, PQP) é o método utilizado para definir, num único documento, as informações necessárias ao controlo da qualidade. O plano de controlo é uma saída do processo de Planeamento da Qualidade e visa controlar características do produto e do processo.

Um único plano de controlo pode ser aplicado a um grupo ou família de produtos que são produzidos pelo mesmo processo na mesma fonte. O plano de controlo é um documento vivo que deve ser actualizado para reflectir os métodos correntes de controlo e deve ser utilizado durante todo o ciclo de vida do produto.

Anteriormente à execução do PQP deve ser executado o fluxograma do Processo, onde constam todas as etapas do processo. O fluxograma do Processo pode ser um documento separado do PQP ou pode estar integrado com ele.

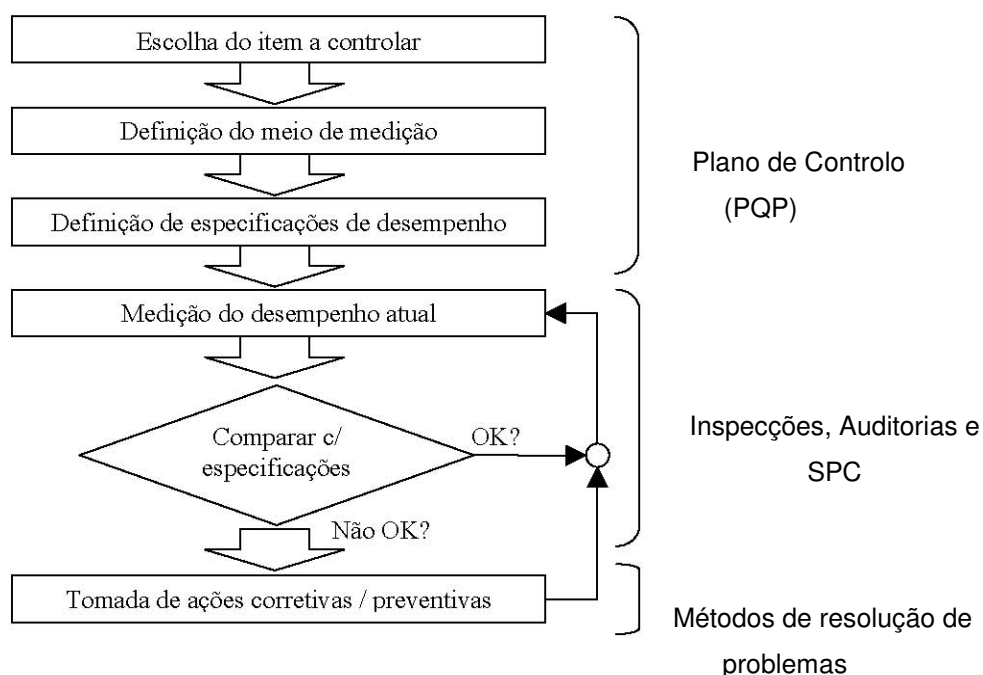


Figura 30 – Fluxograma do plano de controlo da qualidade (Juran, 2000)

6.2.1 No plano de controlo constam em geral as seguintes informações:

- Número da etapa do processo;
- Nome do processo/Descrição da operação;
- Descrição da máquina, aparelho e ferramenta;
- Características (características do produto e processo);
- Métodos (Especificações/Tolerância do produto/processo, Técnica de avaliação e medição, Tamanho e frequência da amostra, método de controlo);
- Plano de Reacção em caso de desvios (decisões ou acções a serem tomadas em casos de desvios).

Podem utilizar-se várias informações para o desenvolvimento de planos de controlo, como o fluxograma do processo, D-FMEA, P-FMEA, características especiais, conhecimento do processo por parte da equipa e as revisões do design.

6.2.2 Vantagens da implementação e desenvolvimento de um plano de controlo:

Aumentar a qualidade dos produtos durante as fases de design, fabrico e montagem;

Ajudar a identificar características do processo e as suas fontes de variação;

Ajudar a centrar os recursos no processo e características do produto que são importantes para o cliente, que consequentemente aumenta a satisfação do cliente;

Providenciar uma forma apropriada de comunicar as mudanças nas características produto/processo, método de controlo e avaliação de características.

6.2.3 Interacção entre o PQP e a FMEA

Todas as informações do plano de controlo são necessárias à execução da FMEA do processo.

O meio, método, frequência e tamanho da amostra no controlo do processo são a forma de se garantir a detecção de falhas no processo produtivo. Sendo assim, todos afectam a avaliação do nível de detecção da FMEA do processo. Ou seja, todas as informações que constam no PQP, à excepção do plano de reacção devem constar na FMEA de processo.

Caso o PQP seja executado antes da FMEA, as informações deste serão utilizadas na FMEA. Caso a FMEA seja executada antes do PQP todas as informações do PQP já constarão na FMEA; neste caso é somente necessário produzir o documento do PQP com estas informações e definir o plano de reacção no caso de desvios.

No desenvolvimento do processo, normalmente em função de avaliações da FMEA, muitas das informações do PQP podem ser alteradas para se reduzir riscos no processo.

Grande parte das organizações não percebem a interacção ou não têm ferramentas ou métodos para garanti-la. Com isto, a FMEA e o PQP são executados como métodos ou procedimentos independentes. A não ocorrência desta interacção gera problemas com a fidelidade entre as informações presentes nos dois documentos e não garante a revisão da FMEA em função de alterações no PQP e vice-versa.

6.3 Métodos de Resolução de Problemas

Para a tomada de acções para desvios em relação aos objectivos, têm sido utilizados diversos métodos de resolução de problemas os quais visam levar, de forma sistemática, à solução definitiva de determinado problema. Os métodos são muitos, cada um deles tem particularidades, mas essencialmente seguem os mesmos passos principais.

A importância do uso de uma sistemática para a resolução de problemas é citada por Fasser e Brettener (2002); segundo os autores a intensidade das acções tomadas é directamente proporcional à intensidade do problema, assim quando surge um novo problema tomamos acções imediatas para minimizá-lo. Todavia quando o efeito do mesmo está controlado temos a tendência a partir para um novo problema; desta forma o primeiro problema volta a ocorrer após algum tempo. Utilizando e seguindo todos os passos de uma sistemática de resolução de problemas, podemos evitar a recorrência de problemas.

O método 8D é um método de resolução de problemas bastante completo e eficaz, pois engloba todos os passos necessários para garantir a resolução definitiva de um problema de qualidade. Mesmo dentro do próprio método 8D existem diversas variações na sua aplicação, pois cada empresa aplica-o da forma que lhe é mais conveniente.

6.3.1 Metodologia 8D

A metodologia 8D remonta aos anos 60 nos Estados Unidos da América. A empresa *Jet Propulsion Laboratory* desenvolveu o método 4D. Era conhecido como os “4Do’s”:

1. Do: Descrever o Problema;
2. Do: Acção Imediata;
3. Do: Análise da Causa Raiz;
4. Do: Acção Correctiva.

No início dos anos 70 esta técnica foi iniciada pela Ford e semanas mais tarde por muitas outras empresas do ramo automóvel nos Estados Unidos da América. Em 1978 a

empresa Ford criou equipas internas para criação de um novo método. Foram criados métodos 6D, 8D, 12D e 14D pelas diversas equipas e verificou-se que a técnica 6D não era mais eficaz que a 4D. A 8D seria a melhor forma e não necessitava de tanto tempo como a 12D ou a 14D. Actualmente a metodologia 8D é o mais conhecido método de resolução de problemas no mundo.

A metodologia 8D é uma metodologia de resolução de problemas constituída por 8 disciplinas ou etapas. Ela concretiza 3 tarefas completas e uniformizadas:

- Tarefa 1: Identificação do Problema;
- Tarefa 2: Resolução do Problema;
- Tarefa 3: Documentação.

É um método rápido e com uma sistemática direccionada para o processamento de reclamações internas ou externas de uma empresa e consegue encontrar e eliminar a causa raiz de um defeito.

As 8 disciplinas são estruturadas de uma forma sistemática de acordo com a Figura 31:

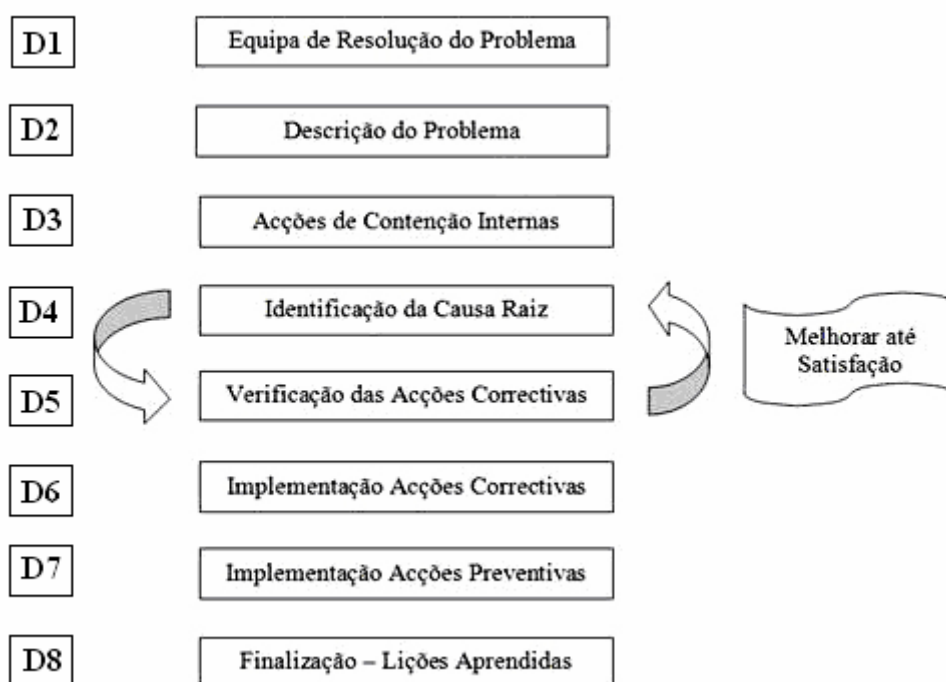


Figura 31 – As 8 Disciplinas da Metodologia 8D (Bosch, 2006)

D1 – A primeira disciplina na metodologia 8D é a criação de uma equipa de resolução de problemas. Essa equipa deverá ser de pequena dimensão com elementos conhecedores tanto do processo como do conhecimento do produto e que tenha disponibilidade, compromisso, competência e poder interno para a resolução do problema e também, poder para a tomada de decisões importantes e a nomeação de responsáveis para a implementação de acções. Deverá ter igualmente um elemento interno da equipa que sirva de moderador em todo o processo triangular de resolução do problema.

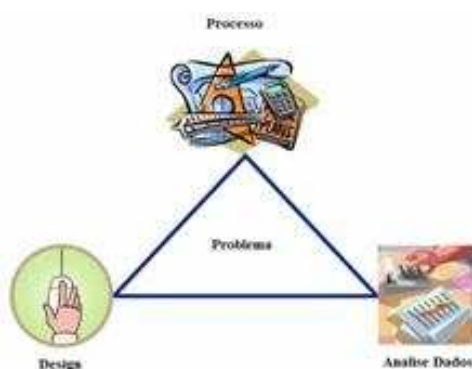


Figura 32 – Processo Triangular de Resolução do Problema (Bosch, 2006)

D2 – A segunda disciplina trata da descrição do problema. A descrição do problema deverá ser apresentada de uma forma clara, precisa e bem definida. Será necessário identificar a causa raiz do problema e quantificá-lo respondendo às questões Onde? Quando? Como? Porque o problema ocorreu?

Será necessária uma recolha e análise detalhada de dados estatísticos e uma análise das consequências do problema; nesse momento será necessário verificar se a equipa possui todos os elementos necessários para a resolução do problema.

D3 – O terceiro passo ou terceira disciplina implica que uma acção imediata de contenção seja implementada para prevenir a continuidade do defeito no cliente. Serve não só para ganhar tempo até à implementação das acções correctivas permanentes para eliminação completa do defeito, mas também serve de filtro para a detecção da causa raiz do problema. Estas acções não devem ser totalmente definitivas, deverão ser usadas por um período de tempo finito até as medidas definitivas serem completamente implementadas e a prova da eficácia das mesmas seja verificada.

São acções de contenção: parar a entrega e inspeccionar o material no cliente, inspecção a 100%, inspecção de material proveniente de fornecedores, inspeccionar

produtos similares que poderão ter o defeito, investigação do local onde o material poderá ter defeito e accionar uma medida de “*Recall*” do produto. Estas acções deverão ser abandonadas quando a acção permanente provar a sua eficácia.

D4 – A quarta disciplina é a análise e a prova da causa raiz. A análise da causa raiz é sem dúvida a etapa principal de um método de solução de problemas, pois uma boa identificação de causas leva a resoluções definitivas, evitando a recorrência da falha. Será efectuada a procura por todas as causas possíveis que expliquem o que aconteceu para causar o problema. A causa raiz do defeito deve ser determinada para eliminar permanentemente o defeito. A sua análise deverá ser efectuada com recurso a técnicas tais como os “5 porquê”, diagrama de *Ishikawa*, *brainstorming* e recurso à árvore de falha.

A causa raiz deverá ser provada e comprovada através da simulação do defeito no local onde supostamente o defeito aconteceu.

D5 – A quinta disciplina é um processo onde se escolhe e verifica as acções correctivas permanentes. Deverá ser apresentado um plano de acções com as acções correctivas a ser implementadas para que se possa afirmar a resolução do problema e apague completamente a causa raiz. Não se poderá restringir a uma só acção; diferentes possibilidades deverão ser reunidas incluindo os seus efeitos para o processo, organização e custo. A efectividade da acção deverá ser verificada e deverá ser assegurada que os efeitos de melhoria sejam visíveis.

D6 – A sexta disciplina é um passo onde se implementa e controla acções correctivas permanentes que irão assegurar que a causa raiz não voltará a originar o defeito. O plano de acção nesta altura deverá ser desenvolvido e implementado para se verificar se efectivamente as medidas irão resolver o problema para o cliente final. Métodos estatísticos, como a análise de capacidade, podem ser utilizados neste momento. Depois de comprovada a eficácia das acções correctivas, as acções de contenção podem ser assim retiradas.

D7 – A sétima disciplina impõe ao gestor a necessidade de implementação de acções para prevenir a recorrência. Para isso é necessário ajustar a gestão e o sistema de controlo, processo e os procedimentos gerais (instruções de trabalho) de maneira a evitar o mesmo ou similar problema que possa ocorrer no futuro (através de procedimentos, FMEA, planos de controlo, etc).

Todas as acções deverão ser guardadas numa base de dados que recolhe toda a informação e que assegura no futuro que os desenvolvimentos ou as mudanças do design serão tidos em conta e estes problemas não voltem a acontecer.

O processo “*Lessons Learn*” deverá ser usado para ensinar, avisar e prevenir defeitos em outros processos, produtos, negócios e secções.

D8 – A oitava etapa é a etapa final onde o responsável dá como encerrada o relatório 8D. Assinalará a data do término do relatório e dissolverá a equipa formada para a resolução do problema.

O relatório 8D só deverá ser encerrado se as condições tiverem sido satisfeitas, nomeadamente: a causa raiz ter sido determinada e confirmada; as acções correctivas planeadas tenham provado ser efectivas e devidamente implementadas; as acções de contenção tenham sido concluídas; as acções de prevenção para evitar a recorrência do problema tenham sido definidas e o cliente tenha concordado fechar o relatório.

6.3.2 Folha de Resolução de Problemas BPS

A Folha de Resolução de Problemas descreve o procedimento, dentro do sistema de produção, de como reconhecer e eliminar permanentemente problemas críticos na Produção (Figura 33).

Em muitos casos é necessário determinar e implementar muito rapidamente acções para os problemas. A causa raiz do problema não é identificada; frequentemente a eficácia das acções não é permanente e transparente.

A aplicação disciplinada do ciclo PDCA garante um processo de resolução permanente do problema. No anexo 7 apresentamos a documentação padronizada para a resolução do problema, que é constituída por uma folha com 9 fases (Anexo 8).

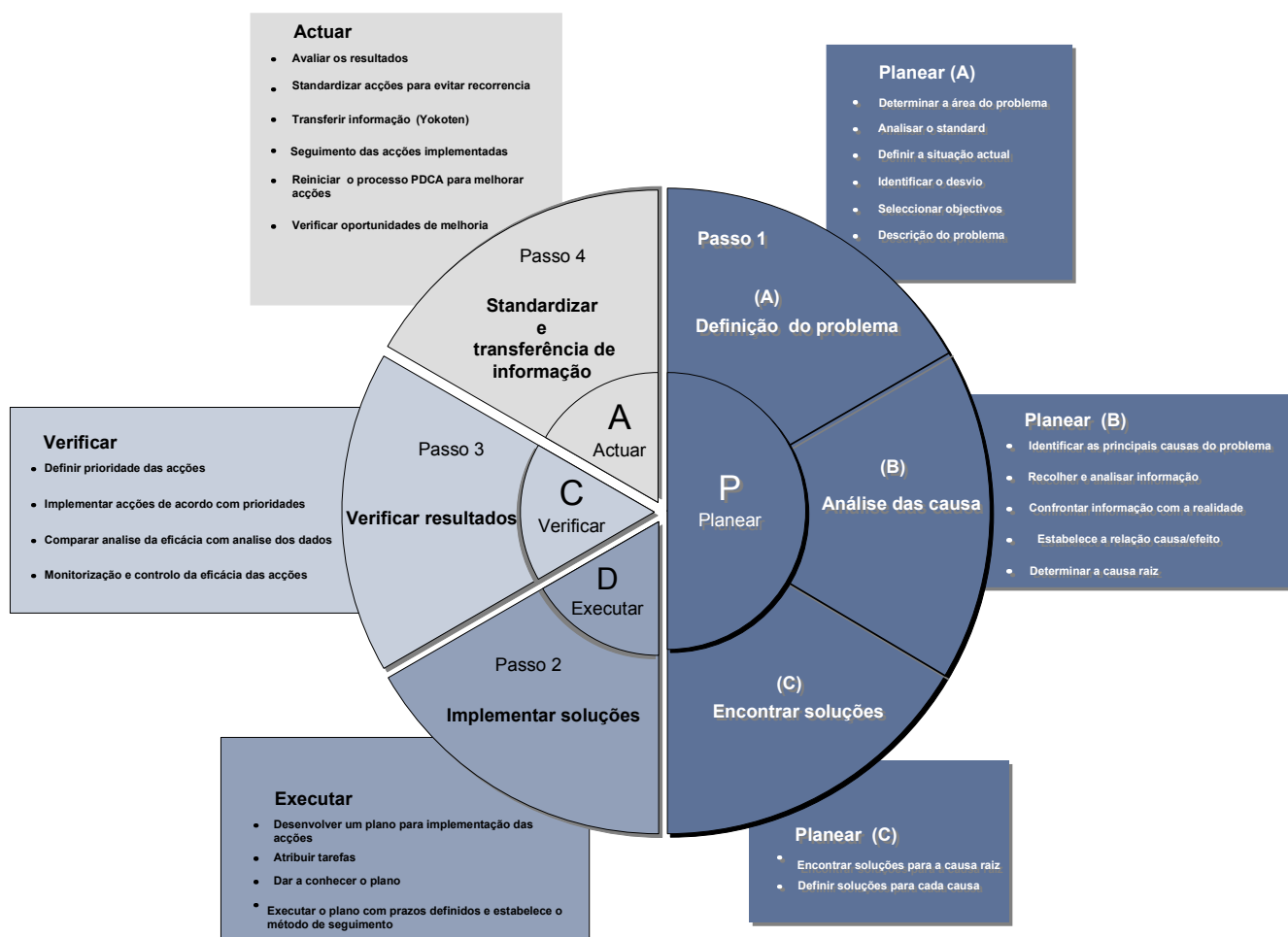


Figura 33 – Resolução de problemas (Bosch, 2006)

6.3.3 Interação entre os 8D's e a FMEA

Durante o processo de elaboração da FMEA são definidas medidas para redução dos maiores riscos (maiores valores de RPN) no processo produtivo. Estas medidas são acções para reduzir a severidade, ocorrência ou melhorar a detecção de um determinado modo de falha. Para a definição destas acções a FMEA determina a data e o responsável, mas não determina nenhum método específico para actuar. Assim, normalmente, as organizações acabam por não utilizar nenhum método para esta actividade. A falta de um método para a resolução das falhas identificadas na FMEA pode causar diversos problemas, entre eles:

Recorrência da falha devido a acções ineficazes ou não identificação da causa real;

A resolução não é estendida a processos semelhantes e não é garantida a longo prazo.

Para evitar estes problemas é possível utilizar um método de resolução de problemas, como o 8D, para tratar os pontos de alto risco da FMEA.

Como saída do método da FMEA temos acções para minimizar os riscos das falhas; estas acções deveriam ser executadas através de um método de resolução de problemas, como o 8D. Desta forma, é possível utilizar esse método não somente de forma correctiva para problemas que estão ocorrendo, mas de forma preventiva para problemas futuros.

Após a utilização de uma metodologia de resolução de problemas, as acções resultantes devem constar na FMEA e a mesma deve ser actualizada conforme a nova situação do processo.

A não ocorrência das inter – relações descritas gera uma ineficácia da FMEA em solucionar de maneira definitiva os riscos do processo, pois não há metodologia para tal no método da FMEA, e não garante a actualização da FMEA em função de dados actuais de falhas e modificações nos sistemas, produtos e processos.

6.4 Controlo Estatístico do processo (SPC)

O controlo estatístico do processo é uma metodologia para monitorizar o processo, que permite identificar causas especiais (assinaláveis) de variação, sinalizando a necessidade da tomada de acções correctivas, sempre que apropriado. Se a variação do processo é devida apenas a causas comuns diz-se que se está em controlo estatístico (Figura 34).

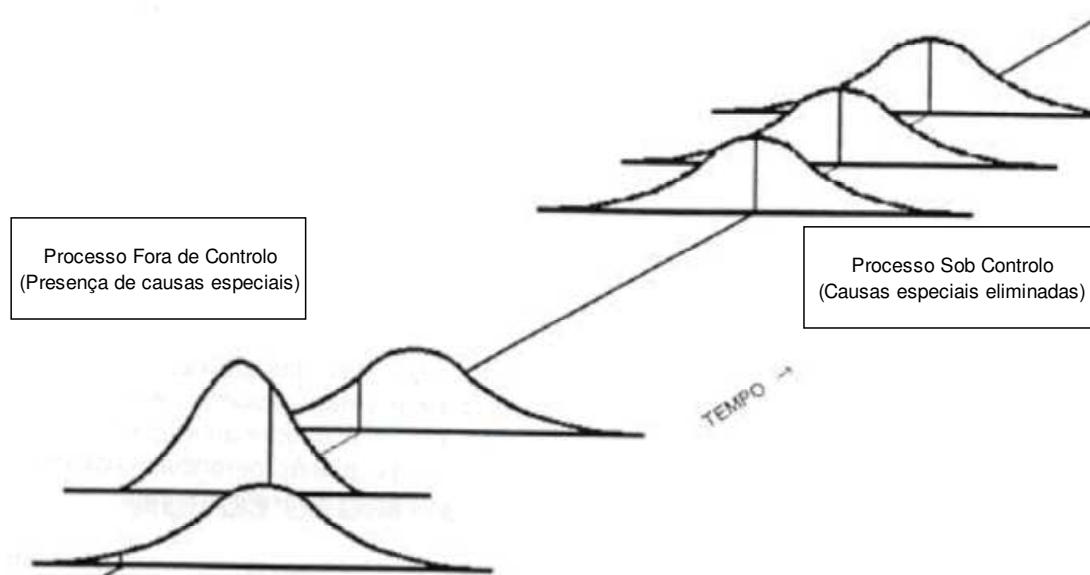


Figura 34 – Controlo processos (QS9000, 1997)

A primeira aplicação de controlo estatístico do processo foi desenvolvida pelo Dr. Walter A. Shewhart em 1924 (Wadsworth, 2000). Após 1941, com a publicação de diversas normas, o método passou a ser adoptado em diversas indústrias. Conforme citado por Wadsworth (2000), nos seus estudos, Shewhart percebeu que existem variações em todas as coisas da natureza bem como em processos de fabrico. O estudo da variação é o principal factor na melhoria da qualidade. Shewhart concluiu que a variação é inevitável e que observar valores isolados traz pouca ou nenhuma base para a tomada de decisão. Desta forma quando se procura observar padrões de comportamento das observações, isto pode ser feito de diversas maneiras, nomeadamente através de histogramas que representam a distribuição das observações ou através de cartas de controlo.

Shewhart observou ainda que as causas de variações poderiam ser divididas em dois tipos, causa comuns e causas especiais (Wadsworth, 2000).

Causas comuns ou causas aleatórias:

São responsáveis por variações em todas as observações do processo. Na carta de controlo aparece como parte da variação aleatória do processo (QS9000,1997).

Estas causas permanecerão presentes mesmo que todas as condições que podem afectar um resultado sejam mantidas constantes. São causas que aparecem em

grande número e o efeito da acção isolada de cada uma delas é tão pequeno que não é identificado.

Causas especiais ou causas assinaláveis:

São as que provocam variações em apenas parte do processo, intermitentes, imprevisíveis e instáveis, não comuns ao processo. Deverão ser identificadas, eliminadas e prevenidas (QS9000,1997). Estas causas são derivações da não estabilidade das condições de processo. São causas que aparecem de forma súbita e podem permanecer presentes ou com efeito contínuo. Delgado (2004) indica como exemplos, as folgas de máquinas, o desgaste de ferramentas, o ajuste inicial, etc.

Segundo a Bosch (2005), o objectivo do controlo estatístico de processo é aprimorar e controlar o processo produtivo por meio da identificação das diferentes fontes de variabilidade do processo. Utilizando conceitos de estatística procura-se separar os efeitos da variabilidade causada pelas chamadas causas comuns das causas especiais de variação.

QS9000 (1997), descreve que a técnica SPC compõe-se de uma ferramenta principal denominada Cartas de Controlo que permitem identificar se o processo está sob controlo estatístico, ou seja, situação em que actuariam somente causas comuns. As cartas de controlo são uma ferramenta estatística que permitem detectar a presença de causas assinaláveis. Um processo diz-se “sob controlo” quando só existirem causas aleatórias (comuns) de variação e “fora de controlo” quando se verifica a presença de causas assinaláveis. As cartas de controlo comparam os dados de desempenho do processo com “limites de controlo estatístico” calculados.

Uma carta de controlo não é mais do que um gráfico, com limites superior (LSC) e inferior (LIC), no qual são marcados os valores estatísticos de medidas para séries de amostras ou sub – grupos. A carta mostra frequentemente uma linha central (LC) para ajudar a detecção da tendência dos valores marcados em relação a qualquer dos limites de controlo (Figura 35).

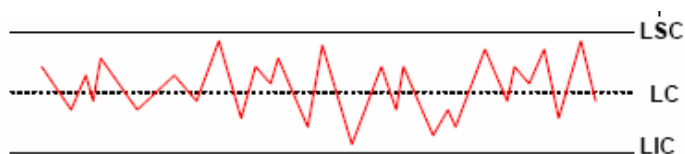


Figura 35 – Exemplo de uma carta de controlo

Os limites de controlo são calculados utilizando as leis da probabilidade, de maneira a que as causas altamente improváveis de variação sejam presumivelmente causas especiais e não comuns. Desta forma, o Gráfico de Controlo é uma representação gráfica da variação do processo, revelando a quantidade e natureza da variação ao longo do tempo, indicando se o processo está sob controlo estatístico e mostrando mudanças no processo que levem a causas especiais (Figura 36).

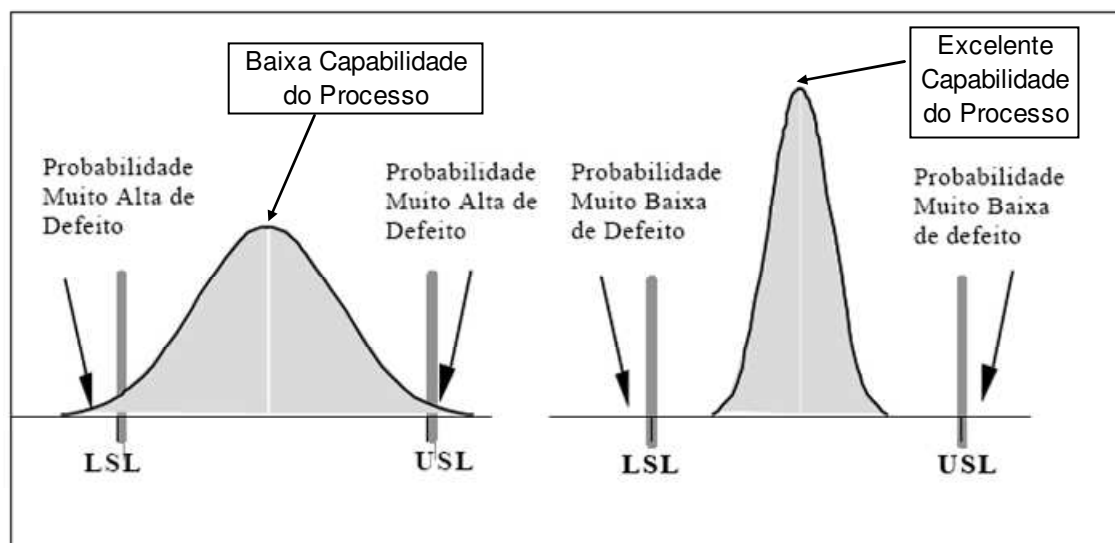


Figura 36 – Fundamentos de Capacibilidade (Camargo e Tavares, 2002)

Adicionalmente aos gráficos de controlo é avaliada a capacidade do processo. Capacidade do processo é o nível de competência do mesmo para atingir os limites de especificação do processo (objectivos). A análise de capacidade pode ser considerada parte do controlo estatístico do processo. A capacidade pode ser utilizada para comparar processos, avaliar modificações nos mesmos e verificar a evolução de processos. Os processos podem estar “capazes” ou “não capazes”, em controlo ou fora de controlo, independentemente um do outro. O objectivo é que os processos estejam “capazes” e em controlo. Se um processo não está capaz, nem em controlo, primeiro temos de eliminar as suas causas assinaláveis e colocá-lo “sob controlo” e só depois actuar nas causas comuns de forma a melhorar a sua capacidade.

O controlo estatístico do processo é amplamente utilizado em diversas empresas; porém deve-se ter cuidado para que a aplicação do método não se torne uma estratégia de qualidade por si só, pois o controlo estatístico do processo é um meio de se atingir a qualidade e não um fim.

6.4.1 Metodologia para o seu desenvolvimento e a sua utilização

1. Preparação

Escolha da variável ou atributo a ser medido;
Determinação do número de amostras a recolher e da sua dimensão;
Definição da carta de controlo a ser utilizada.

2. Recolha de dados

Recolha dos dados;
Cálculo das estatísticas relevantes;
Representação das estatísticas na carta de controlo.

3. Determinação dos limites de controlo

Desenho da linha central da carta de controlo;
Cálculo e desenho dos limites inferior de controlo (LIC) e superior de controlo (LSC).

4. Análise e interpretação

Análise da carta procurando evidências de “não controlo”;
Eliminação dos pontos fora de controlo;
Re – cálculo dos limites se for necessário.

5. Utilização da carta de controlo como ferramenta de resolução de problemas

Continuação da recolha de dados e representação na carta de estatísticas relevantes;
Identificação de situações de “não controlo” e tomada das acções correctivas adequadas.

O controlo estatístico do processo é considerado um método preventivo em relação à qualidade, pois este avalia tendências, padrões de comportamentos e instabilidades do processo antes que ocorram falhas, permitindo assim a paragem do processo antes da ocorrência de uma falha. Porém, isto só se aplica quando se avalia falhas com causas sistemáticas, ou seja, falhas que ocorrem devido à degradação de um determinado processo ou de alterações dos seus parâmetros. Estas falhas podem ser previstas através de observações de tendências no processo, pontos fora dos limites de controlo e mudanças na capacidade do mesmo. Estas mudanças são assim identificadas como causas especiais em relação ao processo inicial.

Quando estamos a tratar de falhas aleatórias, ou seja, falhas que acontecem esporadicamente ocasionadas por causas especiais pontuais no processo, o SPC torna-se num método de detecção, pois o SPC em si não avalia a probabilidade de uma falha aleatória ocorrer. Só pode avaliar, através da análise de capacidade, a probabilidade de uma falha sistemática ocorrer como fruto de causas comuns ou especiais ao processo. Neste contexto, a eficácia do método SPC é a mesma de uma inspecção comum, pois não pode prever a ocorrência da falha, dependendo somente do tamanho da amostragem e fiabilidade do meio de medição para que a falha seja detectada. Segundo Crosby (1990) a amostragem não é um processo eficaz para falhas aleatórias, pois baseia-se na existência de uma população homogénea.

Conclui-se assim, que o SPC é um excelente método para a prevenção de falhas sistemáticas no processo, sejam elas ocasionadas por causas comuns ou especiais do processo. Todavia, o SPC não pode prever a ocorrência de uma falha aleatória, pois não há nenhum padrão de comportamento ou tendência que antecipe a ocorrência da mesma.

Em Sistemas de Gestão da Qualidade que procuram actuar com objectivos próximos a zero defeito deve ser utilizado um método, como o FMEA, que possibilite a prevenção de falhas tanto sistemáticas quanto aleatórias.

6.4.2 Interacção entre o SPC e a FMEA

Na elaboração e revisão da FMEA de Processo são levantados dados históricos gerados nas inspecções e SPC. Todavia, o que acontece na maioria das organizações, é que estes dados não são levantados de forma sistemática e a avaliação da ocorrência das causas é efectuada com base na experiência da equipa da FMEA. Este tipo de método de avaliação pode originar erros na FMEA do processo. Quando a ocorrência é super estimada, pode levar à implementação de uma acção desnecessária, utilizando assim de forma ineficaz os recursos da organização. Quando a ocorrência é subestimada não serão tomadas acções necessárias e assim o risco continuará e poderá, eventualmente, atingir o cliente final.

Deve ser feita a revisão sistemática das ocorrências de causa na FMEA em função dos resultados de inspecções e SPC.

A falta desta integração entre o FMEA, Inspeções e SPC compromete a actualização da FMEA e a sua utilização como “documento vivo” agregando valor não somente na sua execução, mas durante toda a vida do produto.

6.5 Inspeções e auditorias de produto/processo

As inspeções, desde a Revolução Industrial, têm sido até hoje a forma mais utilizada para garantir a qualidade ao cliente. Com o surgimento, em 1941, do controlo estatístico da qualidade foi possível substituir muitas das “inspeções 100%” por planos de amostragem, tornando assim o processo mais económico, porém mais arriscado, pois a probabilidade de detecção do defeito é menor e ainda segundo Crosby (1990) a amostragem não é um processo eficaz para falhas aleatórias, pois baseia-se na existência de uma população homogénea.

É mais barato produzir correctamente um produto à primeira, do que inspeccioná-lo um a um e depois de os produzir remover os que são defeituosos; porém não nos podemos esquecer que acções preventivas são muito mais complexas do que simplesmente inspeccionar os produtos.

O Departamento da Qualidade e a Produção têm a responsabilidade de manter todos os defeitos ou potenciais defeitos longe do cliente. Desta forma, as áreas de produção e da qualidade inter ajudam-se, a responsabilidade efectiva pela qualidade fica com os dois departamentos. Desta forma torna-se possível passar para um Sistema de Gestão da Qualidade baseado na prevenção.

A inspecção ao final do processo gera altos custos, pois quanto mais tarde um defeito é detectado, maior será o valor agregado em cada operação a este produto. Com isto, o primeiro passo para migrar de um sistema baseado em inspecção para um sistema preventivo é passar a responsabilidade pela inspecção e pela qualidade para cada um dos operadores, fazendo com que a inspecção seja descentralizada e tenhamos cada operador a inspeccionar a sua própria produção. Isto pode ser um avanço do ponto de vista de custos e da qualidade no cliente final; porém continua-se com um sistema baseado em inspecção e com o mesmo número de defeitos que no sistema anterior, porém agora mais deles são detectados. Posteriormente a este passo deve-se aplicar uma técnica preventiva para reduzir-se o número de defeitos.

Apesar de a inspecção ter diversas desvantagens quando tratamos de altos índices de defeitos ainda é o método mais simples, rápido e fácil para se ter um resultado imediato de melhoria da qualidade no cliente.

Para tornar a inspecção mais eficaz e com foco preventivo foi criado por Shewhart o controlo estatístico do processo SPC, o qual pode aumentar a precisão da inspecção.

Quando a organização tem como meta alcançar os zero defeitos, torna-se impossível confiar na precisão da inspecção para garantir a qualidade. É necessário

centralizarmo-nos em métodos de prevenção de modos e falha como a FMEA, os 8D e muitos outros que tentam não só corrigir determinados defeitos, mas também impedir a sua recorrência e ainda impedir a ocorrência de potenciais modos de falha.

As auditorias consistem num exame cuidadoso, sistemático e independente, cujo objectivo é averiguar se as actividades desenvolvidas em determinada empresa ou sector estão de acordo com as disposições planeadas e/ou estabelecidas previamente, se estas foram implementadas com eficácia e se estão adequadas (em conformidade) à consecução dos objectivos. As auditorias podem ser classificadas em: auditoria externa e auditoria interna. Actualmente, a auditoria externa distribui-se em diversas áreas de gestão, havendo várias ramificações: auditoria de sistemas, auditoria de recursos humanos, auditoria da qualidade, auditoria de demonstrações financeiras, auditoria jurídica, contabilística, etc.

As auditorias de produto ao contrário das inspecções não fazem parte da cadeia produtiva e não condicionam a libertação do lote para o fornecimento ao cliente independentemente dos seus resultados.

As auditorias de produto têm um carácter essencialmente correctivo em relação á qualidade, daí que os novos Sistemas de Gestão de Qualidade estejam a voltar-se para auditorias externas e internas do processo, que se focalizam na identificação de não conformidades em relação às especificações do processo, procedimentos de trabalho, organização e limpeza, formação, logística e em relação a diversas outras exigências relacionadas ao processo. Quando nos centramos nas falhas do processo é possível evitar que a mesma leve a uma futura falha no produto; sendo assim a auditoria de processo é uma actividade com um carácter essencialmente preventivo.

6.5.1 Interacção FMEA, Inspecções, Auditoria de Produto/Processo

Apesar de as inspecções e as auditorias serem processos com objectivos diferentes, ambos têm as mesmas entradas e saídas, possibilitando a sua análise conjunta.

As inspecções têm a função de avaliar a capacidade do produto em atender aos requisitos e objectivos definidos. Assim, nas inspecções são geradas informações do atendimento aos requisitos e objectivos, como por exemplo:

1. Não conformidades detectadas;
2. Índices de aprovação;
3. Tendências e valores estatísticos gerados nas inspecções utilizando-se ou não

o método SPC;

4. Índices de capacidade dos processos com SPC;

5. Informações sobre estabilidade e causas especiais no processo.

Todos os pontos acima mencionados são entradas importantes para a revisão da FMEA de Processo, pois através destas informações podem ser criados novos modos de falha ou causas. As informações provenientes das inspecções e SPC são ainda fundamentais para a avaliação da probabilidade de ocorrência de uma determinada causa.

6.6 Análise da árvore de falhas (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) é outra técnica de análise de segurança e viabilidade. Este conceito foi desenvolvido em 1962 pelos laboratórios Bell para a Força Aérea dos E.U.A. Posteriormente foi adoptado e amplamente aplicado pelas companhias aéreas.

Uma vez que nenhum sistema é perfeito, lidar com um subsistema de falha é uma necessidade, e qualquer sistema de trabalho eventualmente irá ter uma falha em algum lugar. No entanto, a probabilidade de um completo ou parcial sucesso é maior do que a probabilidade de uma incapacidade total ou parcial fracasso.

A elaboração da FTA pode ser moroso e dispendioso, daí que o melhor método é considerar subsistemas. Desta forma lidar com sistemas mais pequenos pode garantir uma probabilidade de erro menor no trabalho. Depois, os subsistemas são integrados de forma a serem analisados como um grande sistema.

A análise da árvore de falhas é fácil de entender, é uma forma eficaz de sistematizar problemas e ajuda na organização da identificação de possíveis causas de problemas num sistema.

6.6.1 Metodologia

O diagrama da árvore de falhas mostra o relacionamento hierárquico entre os modos de falhas identificados na FMEA. O processo de construção da árvore tem início com a percepção ou previsão de uma falha, que a seguir é decomposto e detalhado até eventos mais simples. Dessa forma, a análise da árvore de falhas é uma técnica *top-down*, pois parte de eventos gerais que são desdobrados em eventos mais específicos. Ou seja, cada situação que possa causar o efeito é adicionada à árvore como uma série de expressões lógicas. Quando a falha das árvores são identificados com números reais,

acerca das probabilidades de fracasso, os programas de computador podem calcular a probabilidade do fracasso do evento de topo.

Esta técnica socorre-se de uma variedade de símbolos (“*gates*”) e eventos (“*event*”) para explicar detalhadamente os modos de falha de um sistema, exemplificados nas tabelas seguintes (Tabela 9 e 10).

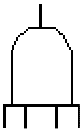

Simbologia		
Acrónimo	Símbolo	Descrição
AND (e)		O símbolo AND é usado somente quando todas as entradas (inputs) ocorrem. É condição mínima existir duas entradas. Todas as entradas terão de se concretizar para o evento também acontecer. Por exemplo: Oxigénio, Combustível e fonte de ignição activa, promovem Explosão.
OR (ou)		O símbolo OR é usado quando basta que apenas uma das entradas se verifique. É condição mínima existir duas entradas. Basta uma entrada activa para o evento acontecer. Por exemplo: Gasolina, benzeno como fontes de combustíveis alternativas.

Tabela 9 – Simbologia da FTA


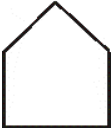
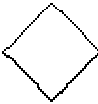

Acrónimo	Símbolo	Descrição
Evento Básico		Representa um evento que não necessita de mais desenvolvimento. É independente de outros eventos. Pode ter assignada uma probabilidade de ocorrência. Encontra-se sempre no final de um ramo de Árvore, nos seus níveis mais baixos e fecha a análise. Exemplo: falha catastrófica do motor, falha de relé.
Evento externo		É um evento esperado. Não é considerado como uma falha. Significa que pode ter dois estados. Activo e inactivo. Na situação de activo significa que se pretende fazer uma análise no pressuposto da ocorrência do evento, atribuindo-se uma probabilidade de 1 nos cálculos. Na situação inversa, aplica-se raciocínio contrário, ou seja se o evento não ocorreu a probabilidade é igual a 0.
Evento incompleto		Eventos que não têm grande impacto no sistema, ou dos quais não há informação ou interesse sobre quais as suas causas. São semelhantes a um evento básico, mas é representado por um símbolo diferente para alertar que se pode desenvolver mais investigação.
Eventos intermédios ou resultantes		É o resultado da combinação lógica de outros eventos (caracterizados ao detalhe).

Tabela 10 – Símbolos dos Eventos tradicionais da FTA

6.6.2 Exemplos de FTA 's:

O evento inicial, que pode ser uma falha observada ou prevista, é chamado de evento de topo, e está indicado pela seta azul (Figura 37). A partir desse evento são detalhadas outras falhas até chegar em eventos básicos que constituem o limite de resolução do diagrama. As falhas mostradas em amarelo compõem o limite de resolução deste diagrama.



Figura 37 – FTA aplicado a uma falha de um motor eléctrico

É possível adicionar ao diagrama elementos lógicos, tais como 'e' e 'ou' (como estão acima exemplificados), para melhor caracterizar os relacionamentos entre as falhas. Dessa forma é possível utilizar o diagrama para estimar a probabilidade de uma falha acontecer a partir de eventos mais específicos. O exemplo abaixo da Figura 39 mostra uma árvore aplicada ao problema de super aquecimento num motor eléctrico utilizando elementos lógicos.

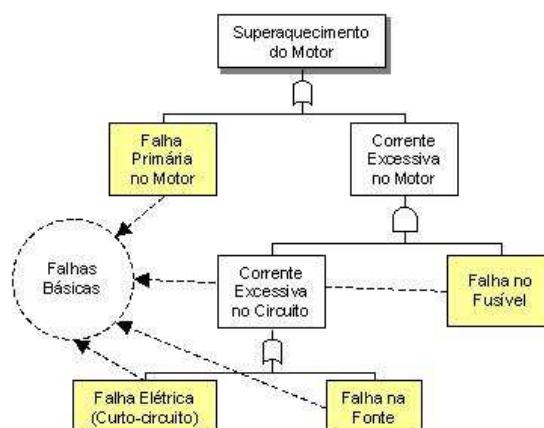


Figura 38 – FTA aplicado a uma falha de um motor eléctrico com a aplicação de elementos lógicos

6.6.3 Procedimento de aplicação

Existem muitas abordagens diferentes que podem ser usadas para criar um modelo de um FTA, mas a forma mais comum e popular pode ser resumido em poucas etapas.

A análise do FTA envolve cinco etapas:

1. Definir o evento indesejável para estudar ("*Top Event*");
2. Definir a estrutura global;
3. Explorar cada ramo em níveis sucessivos de detalhe;
4. Resolver a árvore;
5. Implementar correcções e tomar decisões.

1. Definir o evento indesejável para estudar ("*Top Event*")

A definição do evento indesejável pode ser muito difícil de fazer, apesar de alguns dos eventos serem muito fáceis e óbvios de observar. Um engenheiro com um vasto conhecimento da concepção do sistema ou um sistema com um analista de engenharia de fundo é a melhor pessoa para ajudar a definir o número e eventos indesejáveis. A definição do evento de topo é muito importante porque se for demasiado genérico, obterá uma árvore também ela demasiado genérica (por exemplo: fogo no processo) e se for demasiado restrito, o exercício será moroso (por exemplo: fuga na válvula). Fronteiras para uma correcta definição podem ser ao nível do Sistema, Unidade, Equipamento ou Função, por exemplo são bons exemplos: Sobrepressão no tanque T1, Falha no arranque do motor, Alta temperatura no módulo, ou seja, o nome do evento de topo deve responder á pergunta "O que está mal com o quê?".

2. Definir a estrutura global

Determinar os eventos intermédios e as combinações de modos de falha que possam desencadear o evento de topo. Dispô-los em seguida de forma lógica no espaço, usando os símbolos lógicos.

3. Explorar cada ramo em níveis sucessivos de detalhe

Continuar o processo *Top-down* até que as causas raiz de cada ramo estejam identificadas, ou até que não seja necessário uma maior decomposição. Cada ramo terá que terminar num evento básico ou num evento incompleto. Considerar causas comuns e

sistemáticas no processo de decomposição. Devemos terminar a análise no limite do âmbito definido do evento de topo.

4. Resolver a árvore

Atribuir probabilidades de falha a todos os eventos ao mais baixo nível de cada árvore. A partir desses dados, as probabilidades dos eventos intermédios e do evento de topo pode ser determinada usando a álgebra de Boole (Figura 39) e a teoria do “*Minimal Cut Set*”.

Álgebra de Boole

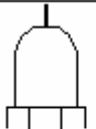

	AND (e)	×
	OR (ou)	+

Figura 39 – Correspondência entre a simbologia e a álgebra de Boole

Teoria do “Minimal Cut Set ”

Uma árvore de falhas consiste em vários níveis de eventos básicos e intermédios, ligados entre si com *AND*'s e *OR*'s. Alguns dos eventos básicos aparecem em diferentes níveis da árvore. Um “*Cut Set*” é a colecção dos eventos básicos que originam o *Top Event*. O “*minimal cut set*” é o que não tem eventos desnecessários, ou seja, todos os Eventos dentro do “*cut set*” têm de ocorrer, para originar o *Top Event*.

5. Implementar correcções e tomar decisões

A aplicação de álgebra de Boole e da teoria do “*Minimal cut Set*”, resultam na identificação dos Eventos básicos e na combinação de eventos básicos que têm maior influência no “*Top Event*”.

Por exemplo, na terminologia da probabilidade temos:

$$(1 \text{ And } 2) \text{ Or } (3 \text{ And } 4) \text{ Or } (1 \text{ And } 5 \text{ And } 4) \text{ Or } (2 \text{ And } 5 \text{ And } 3)$$

Estes conjuntos de eventos são também chamados de “*Minimal Cut Set*”. Podem agora ser vistos como a análise da árvore de falhas que pode ser criada através da representação dos eventos acima, na Figura 40 e 41.

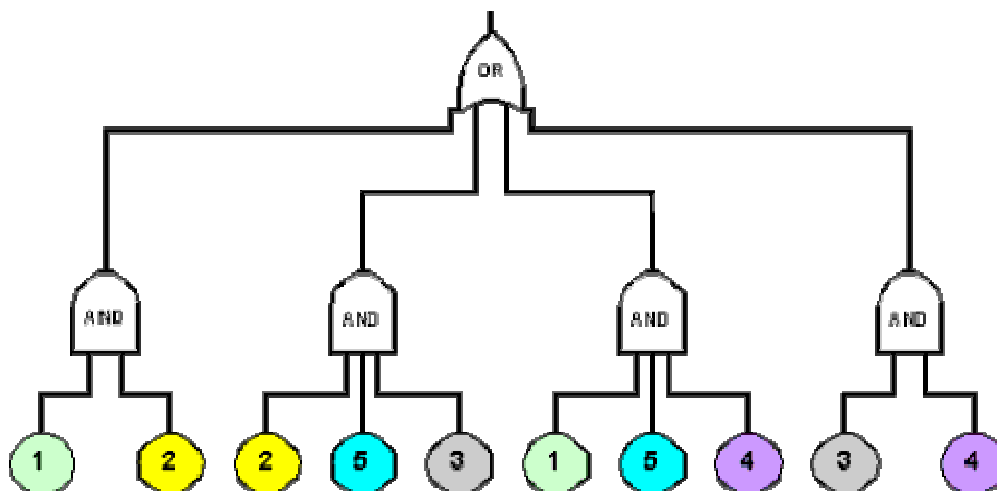


Figura 40 – Exemplo de uma árvore de falhas

Conversão de uma árvore de falhas para um sistema físico:

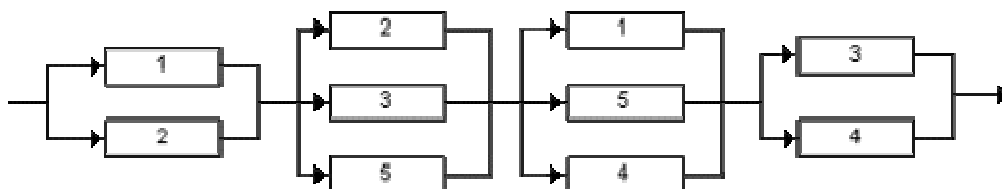


Figura 41 – Exemplo de um sistema de árvore de falhas convertido num sistema físico

6.6.4 Regras complementares para uma correcta construção:

- Escreva cada falha de forma muito clara;
- Identifique-a como falha de um componente ou do sistema;
- Todas as entradas de cada símbolo têm de estar completamente definidas antes do desenvolvimento de cada um deles para níveis de maior detalhe;
- Completar cada ramo até ao fim, um a um;
- Não podem existir secções redundantes;
- A árvore de falhas tem de estar completa antes do início da análise.

6.6.5 Vantagens e desvantagens da FTA:

Vantagens: fácil de aprender, representação gráfica, veículo de comunicação com o cliente, os “Cut Set” reflectem com clareza as causas, muito útil na análise pormenorizada de apenas um evento.

Desvantagens: requer tempo, ausência muitas vezes de dados de fiabilidade, diferentes executantes, diferentes resultados, o mesmo evento poderá aparecer em partes distintas da Árvore, causando confusão inicial.

6.6.6 Interacção entre a FTA e a FMEA

Apesar da semelhança entre as duas técnicas, no que se refere a finalidade, existem várias diferenças entre elas quanto á aplicação e ao procedimento de análise. A tabela abaixo compara as duas técnicas apresentando suas principais diferenças.

	FTA	FMEA
Objectivo	Identificação das causas primárias das falhas	Identificação das falhas críticas em cada componente, suas causas e consequências
	Elaboração de uma relação lógica entre falhas primárias e falha final do produto	Hierarquizar as falhas
Procedimento	Identificação da falha que é detectada pelo utilizador do produto	Análise das falhas em potencial de todos os elementos do sistema, e previsão das consequências
	Relacionar essa falha com falhas intermédias e eventos mais básicos por meio de símbolos lógicos	Relação de acções correctivas (ou preventivas) a serem tomadas
Aplicação	Melhor método para análise individual de uma falha específica (análise quantitativa)	Pode ser utilizado na análise de falhas simultâneas ou correlacionadas (análise qualitativa)
	O enfoque é dado à falha final do sistema	Todos os componentes do sistema são passíveis de análise

Tabela 11 – Interacção entre a FTA e a FMEA

Esta ferramenta pode ser utilizada para resolver problemas mais complexos originados no desenvolvimento da FMEA. A FTA é uma ferramenta que está a ser estudada pela *Bosch*, porque já temos clientes que nos pedem para aplicar esta técnica e também para ver se a podemos aplicar aos seus processos e se produz *outputs* compensatórios ao investimento que vai ser necessário.

6.7 Diagrama de causa e efeito

O diagrama de causa efeito é um instrumento que permite visualizar de uma forma simples todas as causas potenciais relativas à constatação de um efeito, seja ele qual for. Também conhecido como “espinha de peixe” ou diagrama de Ishikawa, foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa, da Universidade de Tóquio, em 1943, onde a utilizou para explicar para o grupo de engenheiros da Kawasaki Steel Works como vários fatores podem ser ordenados e relacionados. Porém, somente em 1962, J. M. Juran no QC Handbook “baptizou” este diagrama como sendo diagrama de Ishikawa.

Apesar de não impedir a identificação infalível de todas as causas reais, utiliza-se este diagrama na metodologia de resolução de problemas, quando um efeito é identificado e se deseja conhecer todas as causas possíveis, inerentes ao seu aparecimento, tornando possível a orientação das investigações da equipa de trabalho.

O diagrama de causa-efeito é apresentado sob a forma de espinha de peixe, em que a cabeça enquadra o efeito ou o problema que está a ser investigado. As espinhas, que confluem com a espinha dorsal do diagrama representam as principais causas potenciais que geram o problema. A cada uma das espinhas transversais, confluem outras que fornecem a identificação de cada causa potencial.

As relações entre as causas e o efeito, devem então ser estudadas, devendo ser desenvolvidas ideias de melhoramento ou estratégias para investigações posteriores.

6.7.1 Condições prévias para a sua aplicação

A equipa de trabalho deverá ter identificado o problema e efectuado um *Brainstorming* para obter as causas possíveis relativas ao problema (Figura 42).

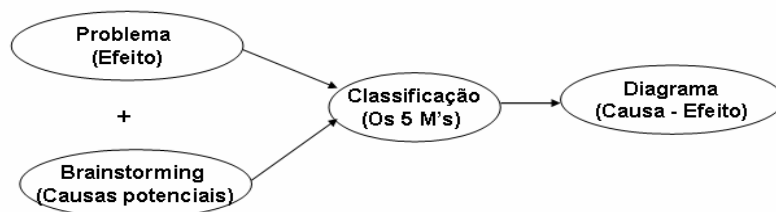


Figura 42 – Condições necessárias para a aplicação do diagrama de causa – efeito

Esta ferramenta permite analisar as potenciais causas de um problema, as quais genericamente se enquadram numa das cinco características principais:

Materiais (fornecedor, marca, lote, componente, etc.)

Métodos de trabalho (velocidade, pressão, temperatura, etc.) ou de medida (micrómetro, termómetro, inspector, etc.)

Mão-de-obra (sexo, grupo, classe, idade, formação profissional, turno, etc.)

Máquinas (tipo, ferramenta, idade, etc.)

Meio-ambiente (iluminação, pressão atmosférica, humidade, etc.)

Podemos ver a representação destas características na seguinte figura:

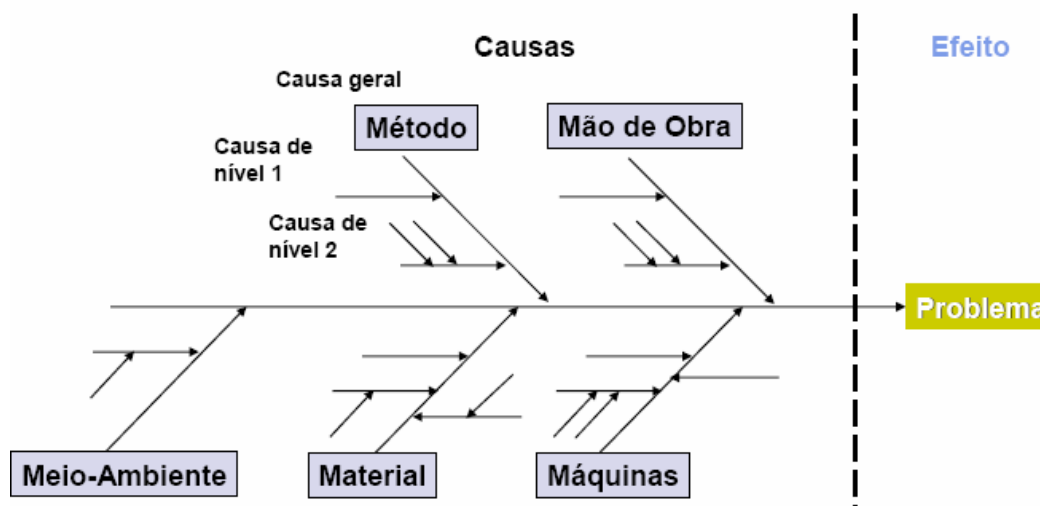


Figura 43 – Representação esquemática do diagrama de causa – efeito e os seus componentes

6.7.2 Exemplos de diagramas de causa-efeito

Os dois exemplos a seguir ilustram os dois tipos de diagrama de causa e efeito.

O primeiro diagrama (Causa e Efeito: Desempenho Desejado) refere-se a algo que desejamos, isto é, um arroz bem cozinhado. Os factores que determinam um arroz bem cozinhado são: lavagem, condições de cozedura, arroz e equipamento. Para que o

arroz seja bem lavado, precisamos de uma quantidade de água e um número de lavagens. As condições de cozedura, por sua vez, dependem do sal (tipo, marca, quantidade), da proporção água/arroz da preparação e da duração. O diagrama é detalhado (Figura 44) colocando as causas do efeito desejado, depois adicionando as causas destas e assim por diante até que fique bem claro como obter o objectivo visado.

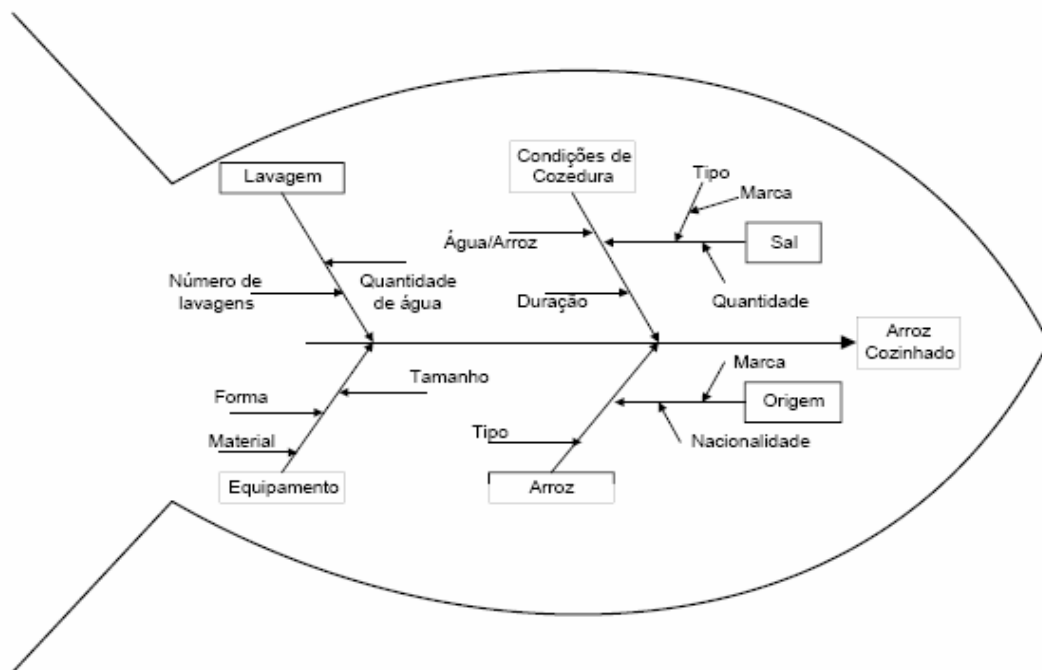


Figura 44 – Diagrama de causa – efeito de um desempenho desejado

O segundo diagrama (Diagrama de causa-efeito: Problema) refere-se a um efeito indesejado, uma cravação defeituosa (Figura 45).

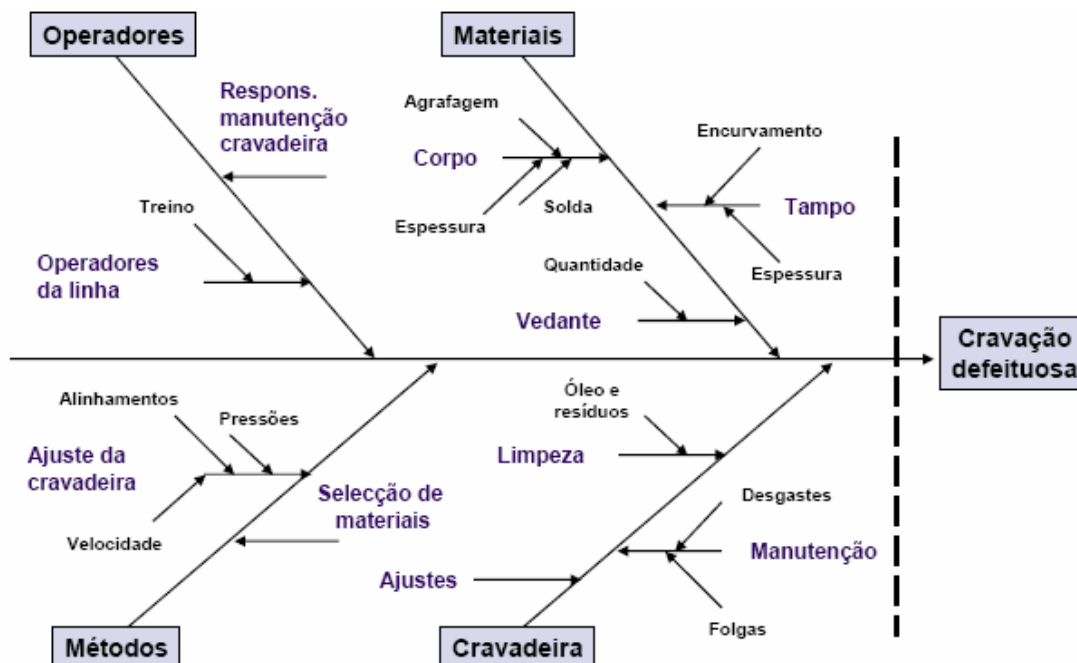


Figura 45 – Diagrama de causa – efeito de um problema

Um diagrama de causa e efeito bem detalhado tomará a forma de uma espinha de peixe daí, a utilização desse nome alternativo. A partir de uma definida lista de possíveis causas, as mais prováveis são identificadas e seleccionadas para uma melhor análise. Quando se examina cada causa, deve-se observar os factos que mudaram, como por exemplo, desvios de norma ou dos padrões. Lembre-se de eliminar a causa e não o sintoma do problema. Investigue a causa e seus contribuidores tão fundo quando possível.

6.7.3 Razões para utilização de diagramas de causa efeito

- Para identificar as informações a respeito das causas de um problema;
- Para organizar e documentar as causas potenciais de um efeito ou característica de qualidade;

Para indicar o relacionamento de cada causa e subcausa às demais e ao efeito ou característica de qualidade;

Para reduzir a tendência de procurar uma causa "Verdadeira", em prejuízo do desconhecido ou esquecimento de outras causas potenciais.

Vantagens

Registra visualmente as causas potenciais que podem ser revistas e actualizadas;

Pode ser utilizada como uma estrutura para o brainstorming;

Envolve todos os participantes;

Boa ferramenta de comunicação.

Desvantagens

Não apresenta os eventuais relacionamentos entre as diferentes causas;

Não focaliza necessariamente as causas que devem efectivamente ser trabalhadas.

6.7.4 Interacção entre o diagrama de causa – efeito e a FMEA

O diagrama de causa – efeito ou os 5 M's como é vulgarmente chamado deve ser utilizado na parte de definição das causas dos potenciais modos de falha porque facilita a organização e visualização das causas, estabelece um processo metódico de análise que ajuda a assegurar o não esquecimento de nenhuma das causas que podem originar um potencial modo de falha.

6.8 O método *Brainstorming*

O *Brainstorming* (ou "tempestade de ideias") é uma técnica para recolha de ideias orientada para a resolução de problemas em grupo. (Sousa, 2007). De entre diversos outros métodos, o *brainstorming* propõe que um grupo de pessoas – de uma até dez pessoas – se reúna e compartilhe os seus pensamentos e ideias sobre temas, numa atmosfera de relaxamento, que incentiva o conhecimento colectivo, sem restrições.

As pessoas que se envolvem neste método devem ser de sectores e competências diferentes, pois as suas diversas experiências podem colaborar com a

"tempestade de ideias" que se forma ao longo do processo de sugestões e discussões. Nenhuma ideia é descartada ou julgada como errada ou absurda. Todas as ideias são ouvidas e trazidas até o processo de *brainwriting*, que constitui a compilação ou anotação de todas as ideias ocorridas no processo de *brainstorming*, numa reunião com alguns participantes da sessão de *brainstorming*; este processo vai evoluindo as ideias até à chegada da solução efectiva.

A técnica de *brainstorming* tem várias aplicações, mas é frequentemente usada no desenvolvimento de novos produtos, publicidade, resolução de problemas, gestão de processos, gestão de projectos e formação de equipas.

6.8.1 Procedimento de aplicação:

1. Definir o problema ou a questão como um desafio criativo. Isto é extremamente importante. Um desafio mal definido pode dar origem a muitas ideias, mas que não conseguem resolver o problema. Um desafio bem definido gera as melhores ideias para resolver o problema. Desafios criativos começam tipicamente com: "De que maneira poderíamos nós...?" ou "Como poderíamos nós...?". O desafio maior é ser conciso e compenetrado no que e está a fazer, a ponto de excluir qualquer informação que não seja o desafio em si. Por exemplo: "De que forma poderíamos nós melhorar o produto X?" ou "Como poderíamos incentivar mais pessoas para se juntarem à nossa equipa?".
2. Estabelecer um tempo limite. Cerca de 25 minutos, mas a verdade é que só a experiência vai mostrar quanto tempo é necessário. Uma equipa maior pode precisar de mais tempo para obter e expor todas as ideias. Alternativamente, podemos dar um limite de ideias que se podem gerar, por exemplo, um mínimo de 50 ideias.
3. Assim que começa o *brainstorming*, os participantes começam a dizer possíveis soluções para o problema, enquanto o moderador as escreve – geralmente, num quadro branco que seja visível para todos. Não deve haver absolutamente nenhuma crítica de ideias. Não importa se a ideia é considerada impossível ou idiota, ela deve ser escrita. Deve-se encorajar todo o tipo de ideias, mas não se deve encorajar a crítica.
4. Quando o tempo de participação acabar, deve-se seleccionar as cinco melhores ideias, em conjunto com todos os participantes.
5. Anotar cerca de cinco critérios de avaliação das melhores ideias para resolver o problema. Os critérios devem começar com a palavra "deve", por exemplo, "deve ser

economicamente eficiente", "deve ser admissível", "deve ser possível para terminar antes de 15 de Julho".

6. Deve-se dar uma pontuação de 0 a 5 pontos, dependendo da forma como se reúne cada critério. Depois de todas as ideias terem sido pontuadas, comparar a pontuação.

7. A ideia com a melhor classificação será a melhor para resolver o problema.

6.9 O método *Brainwriting*

Originada no Instituto Battelle em Frankfurt. É uma variação do *brainstorming*, com a diferença essencial de que todas as ideias são escritas, trazendo como consequência calma e ordem no processo. Ao retirar a interação oral, elimina a possibilidade de o líder do grupo favorecer determinados participantes mais activos e extrovertidos. No *brainwriting*, todas as pessoas podem ter ideias simultaneamente e são incentivadas a desenvolver as ideias geradas pelos outros participantes (Figura 46). É apenas uma variação da metodologia, com a mesma finalidade de gerar ideias inovadoras.

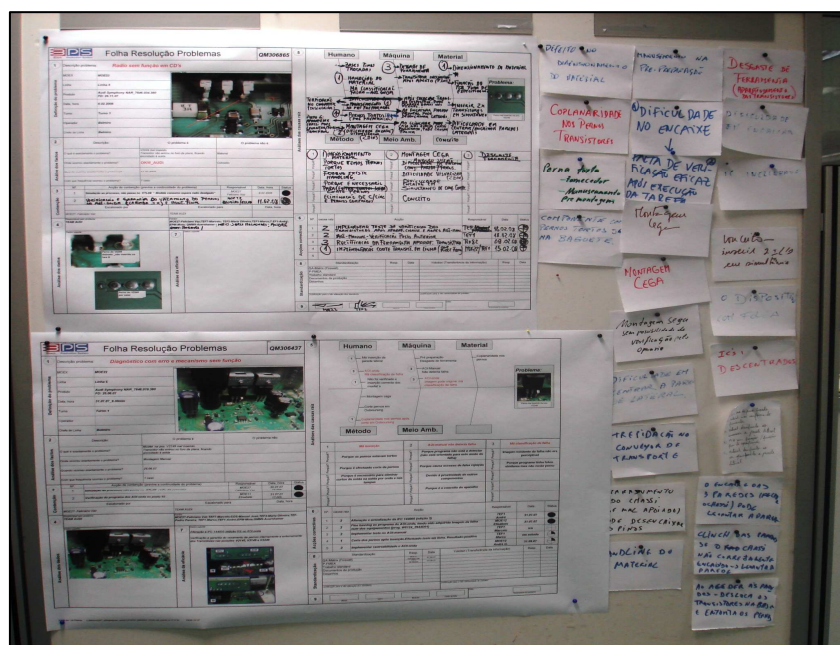


Figura 46 – Exemplo de um *brainwriting*

6.9.1 Procedimento de aplicação:

1. Identificação do tema central por parte do líder da sessão.
2. Os participantes, sentados numa sala, escrevem individualmente as suas ideias durante cerca de cinco minutos.
3. Cada participante passa a sua folha de papel à pessoa sentada ao seu lado, que acrescentará as suas próprias ideias, durante mais cinco minutos. Este processo pode repetir-se diversas vezes mas, geralmente, três passagens são suficientes.
4. O líder da sessão recolhe os papéis e lê as ideias ou afixa-as num quadro.

O *Brainstorming* e o *Brainwriting* clássicos são baseados em dois princípios e quatro regras básicas:

Princípios:

1. Suspensão do julgamento;
2. Quantidade origina qualidade.

Regras

1. Eliminar qualquer crítica;
2. Apresentar as ideias tal qual elas surgem na cabeça;
3. Quanto mais ideias surgirem, melhor;
4. As ideias potencialmente boas devem ser aperfeiçoadas.

6.9.2 Composição do grupo

A maioria dos grupos de *Brainstorming* e *Brainwriting* são constituídos por dois elementos:

- O líder (moderador).
- A equipa.

Devem ser escolhidas pessoas que tenham alguma experiência com o problema em causa. É necessário não misturar os chefes com os trabalhadores. Deve ser uma equipa multidisciplinar. A maioria das pessoas não se consegue libertar nem ser suficientemente criativo diante do seu chefe. O líder de grupo deve ser familiar com o processo de *brainstorming* e ter facilidade em manter-se relaxado, e numa atmosfera

descontraída. Deve-se utilizar esta técnica para problemas que tenham um final em aberto.

Como em todas as técnicas criativas, o problema deve ser descrito em termos específicos para que ideias específicas possam ser concebidas.

6.9.3 Interacção entre o *Brainstorming* e/ou *Brainwriting* e a FMEA

O *Brainwriting* complementa o *Brainstorming* e fazem parte de um processo de tomada de decisão para a resolução de problemas. Podemos utilizar estas técnicas para tentar encontrar mais rapidamente soluções para a correcção dos problemas levantados pela FMEA.

A equipa necessária para estas duas técnicas e para a FMEA têm exactamente as mesmas características; logo é propício utilizar estas técnicas na resolução de problemas levantados pela FMEA.

O domínio e conhecimento destas duas técnicas vai-nos ajudar não só a solucionar o nosso problema, como nos vai dar mais capacidades e conhecimentos para lidar e trabalhar com uma equipa multidisciplinar. Para além de que estas duas técnicas (*Brainstorming* / *Brainwriting*) são técnicas capazes de gerarem um número elevado de ideia num curto espaço de tempo. Existem diversas maneiras de fazer um *brainstorm*, tudo depende dos objectivos da FMEA, ou seja daquilo que pretendemos alcançar nessa sessão.

Estas duas abordagens funcionam e enquadram-se bem na FMEA porque permitem que as pessoas expressem as suas ideias sem serem criticadas ou julgadas, o que origina altos níveis de criatividade. Para encorajar as ideias criativas o moderador deve elogiar aqueles que se esforçam por encontrarem soluções para o problema.

O moderador deve rever as regras destas técnicas antes de iniciar a sessão com a equipa e quando a sessão acaba, deve rever todas as ideias, combinar ideias similares, e eliminar aquelas que não se encaixam no contexto. Depois as melhores ideias são utilizadas como possíveis acções na FMEA.

6.10 “Quality Function Deployment” (QFD)

Em 1969 o Japão baseava sua estratégia da qualidade no Controlo Total da Qualidade (Total Quality Control, TQC), porém verificou-se que o processo de desenvolvimento de produtos tinha deficiências. Assim em 1978, os Professores Shigeru Mizuno e Yoji Akao desenvolveram o método chamado Quality Function Deployment (QFD), em português, Desdobramento da Função Qualidade (CHEN, 1995; AKAO, 1990).

O QFD é um método estruturado para definir as necessidades ou requisitos do cliente transformando-os em planos de produção de produtos. Permite definir prioridades de um projecto a diferentes níveis no processo de desenvolvimento (Cohen, 1995). Esta técnica com origem no Japão é considerada de incalculável valor no desenvolvimento de novos produtos ou serviços. É uma das muitas técnicas que se encontram sobre o conceito CWQC (Company Wide Quality Control), filosofia caracterizada por ser orientada ao cliente. (Chien, 2003)

Cohen (1995) defende que, o QFD é um método para estruturar o planeamento e desenvolvimento do produto, possibilitando à equipa especificar claramente as necessidades e requisitos do cliente, de forma a ficar a saber exactamente o que ele deseja.

De seguida, usa-se um sistema lógico para determinar a melhor forma de preencher esses requisitos. Esse sistema lógico envolve construir uma ou mais matrizes. Porém, Cohen (1995) argumenta que há quem considere a existência de mais do que quatro matrizes QFD, ou seja, o QFD poderá ser constituído por trinta matrizes adicionais, que usam as prioridades do VOC (“Voice of Client”) para planear os múltiplos níveis da concepção de um produto.

Podemos resumir dizendo que o QFD é um sistema que permite traduzir os requisitos dos clientes apropriados à organização em cada estágio, desde a investigação e desenvolvimento de um novo produto passando pela engenharia, produção, marketing e vendas até à distribuição. Planeamento da Qualidade consiste basicamente em transformar expectativas e necessidades do cliente em requisitos do produto e processo, através do exemplo seguinte de um *cartoon* editado pela *Readers Digest* vamos verificar como é complicado não perder o significado dos requisitos do cliente no processo de tradução dos requisitos do cliente para o produto.



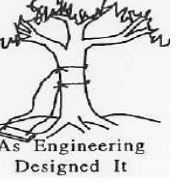


	<p>Há uma criança que pretende um balanço.</p>
 <p>As Sales Ordered It</p>	<p>As vendas decidem melhorar o projecto aumentando a segurança. Nada como desenhado com três cordas.</p>
 <p>As Market Planning Requested It</p>	<p>O marketing, na sua campanha, imagina três crianças felizes a baloiçarem-se em simultâneo.</p>
 <p>As Engineering Designed It</p>	<p>A engenharia sensível a projectos que possam causar ferimentos não quer que ninguém caia e desenha-o assim.</p>
 <p>As Manufacturing Made It</p>	<p>A equipa de produção acredita ter percebido o que o cliente realmente pretende.</p>
 <p>As Field Service Installed It</p>	<p>E finalmente a equipa de instalação, por falta de formação, não soube instalar o balanço.</p>

Figura 47 – Verificação da importância de entender os requisitos do cliente

Como podemos verificar cada versão reflecte uma visão diferente, o QFD pretende alinhar toda a organização. Para tal acontecer são necessárias diferentes ideias

e perspectivas, nenhuma pessoa sozinha tem o conhecimento suficiente para resolver todos os problemas, deve ser realizado por uma equipa multifuncional (Jagdev, Bradley, Molloy, 1997), representando vários departamentos que estejam envolvidos no desenvolvimento do produto, nomeadamente Comercial, Engenharia, Qualidade, Produção. É importante que a equipa que desenvolve o QFD esteja familiarizada com o processo produtivo e o produto (Cohen, 1995).

A abordagem ao QFD pode ser representado pelas seguintes etapas, na figura:

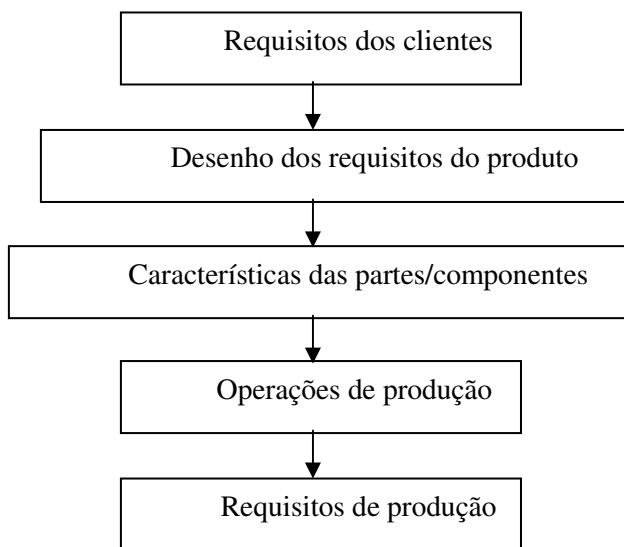


Figura 48 – Etapas de abordagem de uma QFD

Para podermos perceber e implementar a QFD e elaborar esta abordagem correctamente precisamos de perceber dois conceitos fundamentais:

Qualidade

A palavra “Qualidade” que geralmente definimos como conformidade de requisitos, adequação ao uso ou alguma outra medida de comportamento, tem um significado mais amplo no Japão, em que Qualidade significa “Um sistema que permita economicamente produzir bens ou serviços que satisfaçam os requisitos dos clientes”.

A qualidade corresponde a satisfazer os requisitos, estar pronto a tempo, e a redução de custos. O QFD assegura que a qualidade requerida pelo cliente se faça cumprir. A qualidade e fiabilidade do produto são determinadas nas fases iniciais do desenvolvimento do produto. QFD permite criar a qualidade no produto e controlar o processo do desenvolvimento desde a concepção até as operações iniciais de manufactura na Casa da Qualidade. (Govers, 2001)

Melhoria Continua

O QFD é uma metodologia de desenvolvimento e melhoria contínua do produto. Esta metodologia deve fazer parte da cultura da empresa, tendo um papel activo no desenvolvimento do processo. O QFD vai ao encontro dos problemas específicos que poderão surgir e através de uma série de matrizes relacionadas entre si (Cohen, 1995) permite, para além de determinar os requisitos do cliente, quais os requisitos que requerem novas tecnologias, possibilita determinar possíveis falhas no sistema, mas também permite à empresa decidir se a esta tem recursos suficientes e quais são os níveis de qualidade requeridos. O QFD é também considerado uma metodologia preventiva, sugerindo a probabilidade de sucesso ou de falha. Permite identificar as mudanças necessárias antes de o produto ser concebido.

O facto do QFD ser composto por várias matrizes sucessivas, facilita identificar de que forma um problema está relacionado com outro. QFD permite fazer um processo de tradução explícito e sistemático (Cohen, 1995). Isto possibilita eliminar um dos maiores inimigos de um processo de grupo e consequentemente do QFD, ou seja, a fraca comunicação (Cohen, 1995).

6.10.1 Metodologia da QFD

O método QFD pode ser dividido em quatro fases de relações causa – efeito:

1. Fase Organizativa

- Seleção do produto/serviço a melhorar ou desenvolver;
- Seleção do grupo de trabalho;
- Definição da perspectiva do estudo QFD;
- Necessidades dos clientes são traduzidas em especificações técnicas.

2. Fase Descritiva

- Grupo de trabalho: definição e descrição pormenorizada do produto/serviço em vários parâmetros;
- As especificações são detalhadas para cada uma das partes do sistema.

3. Fase de Melhoria

- Identificação e escolha das áreas de melhoria prioritárias;
- Encontrar as formas de realização dessas melhorias (modificando a concepção,

propondo novas tecnologias, alterando matérias, reduzindo custos e identificando as dificuldades de identificação);

Processos para cada uma das partes são estabelecidos.

4. Fase de Implementação

Definição do novo produto/serviço e como será produzido;

As necessidades para cada uma das partes são determinadas.

Segundo Stamatis (1995) o QFD é composto por quatro fases:

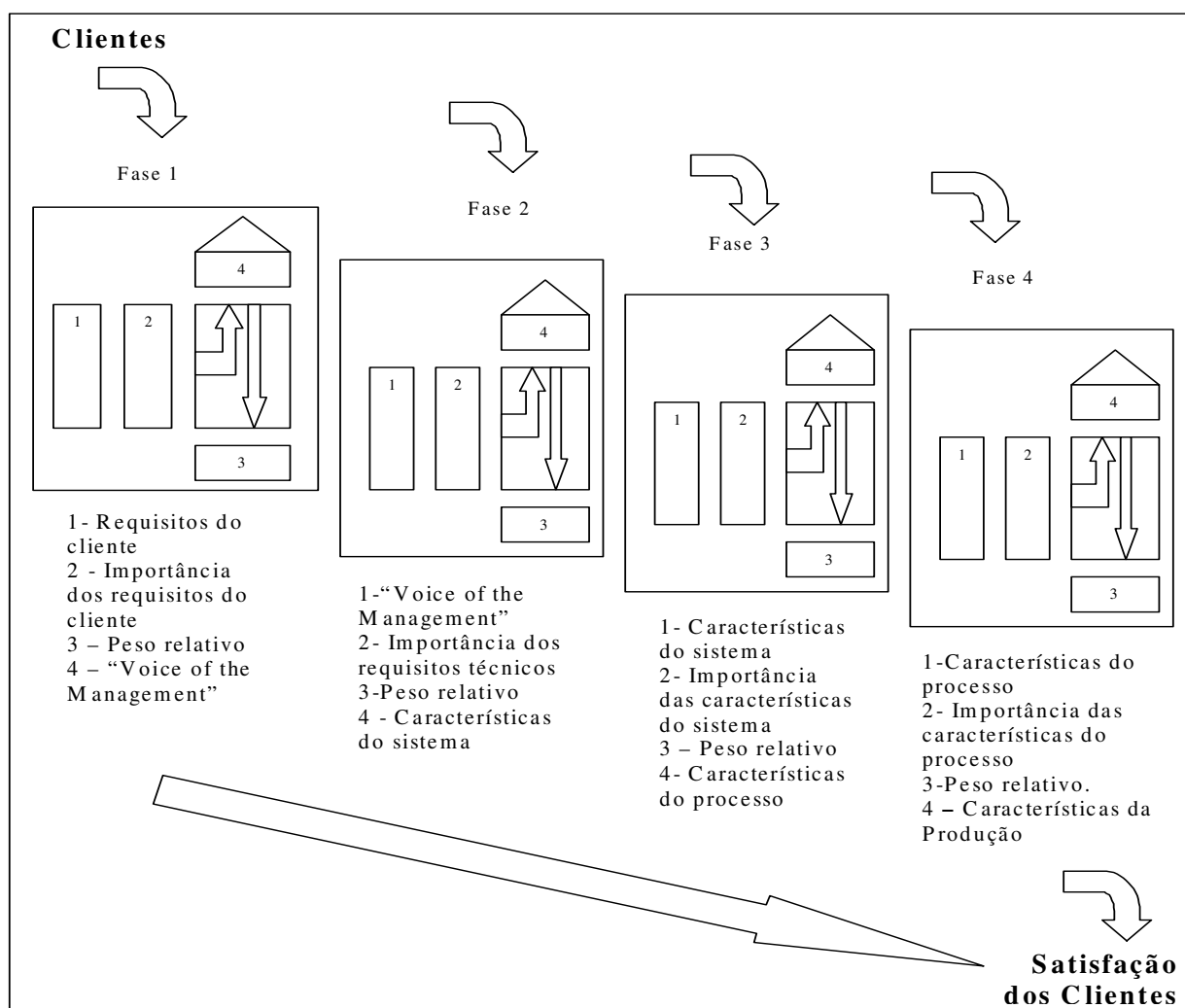


Figura 49 – As 4 fases da QFD

6.10.2 Nomenclatura e representação gráfica da “Casa da Qualidade”

- 1.A voz do cliente (o quê?)
- 2.Requisitos técnicos (como?)
- 3.Matriz de Relações
- 4.Avaliação do mercado, da concorrência
- 5.Valores Alvo (quanto?)
- 6.Importância técnica
- 7.Avaliação competitiva técnica
- 8.Matriz de correlações

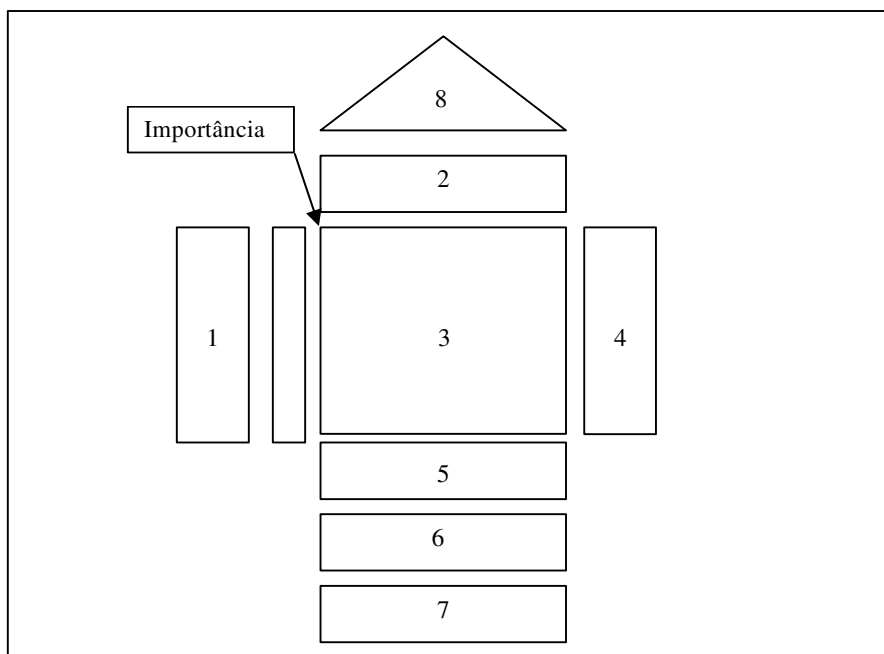


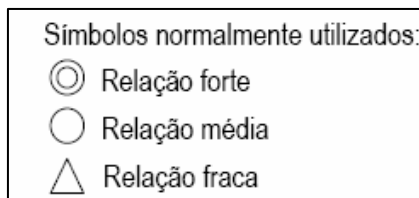
Figura 50 – A Casa da Qualidade

6.10.3 Procedimento de aplicação

1. A voz do cliente (o quê?) deve ser traduzida em frases curtas que contêm as necessidades e expectativas dos clientes. São os atributos que o produto tem de ter para satisfazer as suas necessidades.
2. Preencher os requisitos técnicos do produto (como?), ou seja, o objectivo é

transcrever os requisitos do cliente em características mais técnicas, objectivas e mensuráveis.

3. Relações entre requisitos do cliente (o quê?) e características do produto.



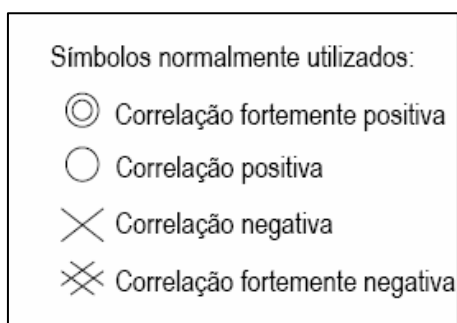
4. Avaliação da concorrência é a percepção do nosso cliente relativamente ao concorrente. É a forma como os nossos produtos são vistos pelos clientes e a nossa relação com o concorrente analisado.

5. Estabelecimentos de valores alvos (quanto?), os requisitos técnicos são objectivados no valor numérico que corresponde à satisfação máxima do cliente.

6. Importância técnica, é a relação entre a importância dos requisitos do cliente e o seu relacionamento com os requisitos técnicos do produto.

7. Avaliação competitiva técnica, os dados são obtidos por avaliações efectuadas na empresa e a informação diz respeito aos nossos produtos e aos da concorrência.

8. Matriz das correlações, relacionamento dos requisitos técnicos do produto, estabelecendo a correlação entre cada um deles.



Não existe uma maneira exclusiva de elaborar a Casa da Qualidade, a sua construção depende de vários factores, assim como, do objectivo pelo qual é realizada. De seguida está representada a Casa da Qualidade segundo Cohen (Figura 52).

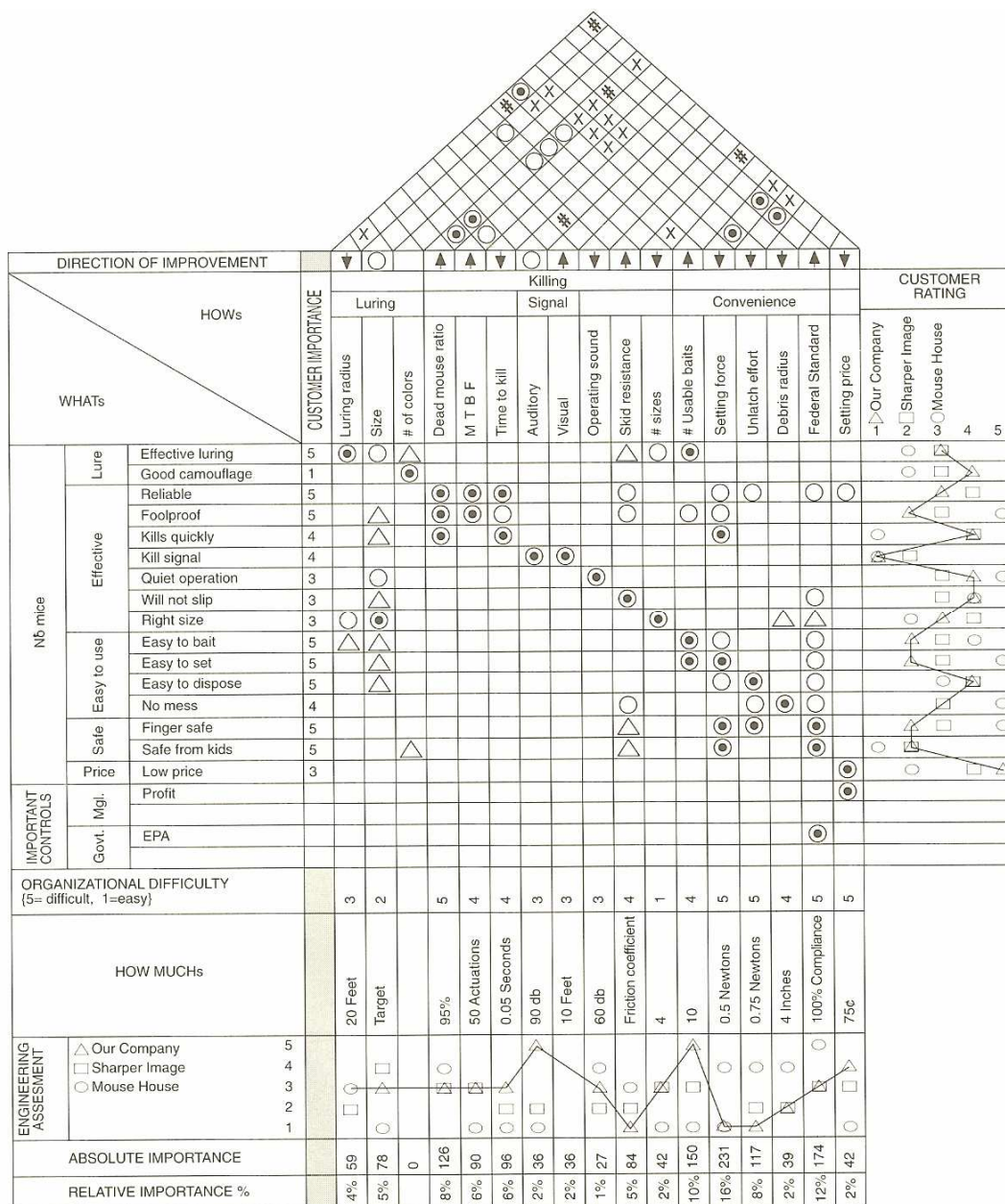


Figura 51 – Casa da Qualidade (Cohen, 1995)

O método QFD é também chamado “Casa da Qualidade”, pois o formato resultante das matrizes assemelha-se a uma casa. No QFD, tanto as necessidades de qualidade quanto os requisitos da qualidade podem ser resultado de uma árvore de necessidades ou requisitos.

6.10.4 Regras complementares para uma correcta construção

Só se aprende a fazer, conhecer bem os passos e ser crítico na análise;
Focalizar-mo-nos no assunto (*"keep it simple"*);
Usar a QFD apenas em situações complexas e críticas para a empresa;
Inserir o trabalho na continuidade das funções de cada um;
Deixar amadurecer as ideias.

6.10.5 Benefícios da QFD:

Redução do tempo de lançamento de novos produtos e da taxa de insucesso;
Redução de custos;
Minimização das alterações de engenharia;
Aumentar a eficácia do próprio processo de desenvolvimento;
Encaminhar as decisões de forma a obter bons produtos, capazes de encontrar os clientes e superar os concorrentes;
Melhor organização visual do todo;
Documentar o processo e preservar a informação para o futuro;
Considerar a concorrência;
Permitir interpretações convergentes das especificações;
Aumentar o comprometimento dos membros da equipa com as decisões tomadas.

6.10.6 Análise crítica à metodologia "QFD"

As empresas que usaram o QFD no desenvolvimento do produto depararam-se com uma redução de 50% nos custos, 33% de redução no tempo de desenvolvimento, e 200% no aumento da produtividade, (Cohen, 1995). Estudos comprovaram que ao recorrerem ao uso do QFD, empresas como a Toyota e Honda, conseguiram libertar para mercado novos produtos todos os 3,5 anos. No entanto, o QFD é um consumidor de tempo (Cohen, 1995) requer morosas reuniões e um determinado número de pessoas para as realizar. É uma ferramenta que permite capacitar as empresas de ir ao encontro de uma alta qualidade. No entanto, esta ferramenta não resulta apenas para resolver os problemas mas também para desdobrar os requisitos do cliente.

Segundo Cohen (1995) o QFD permite ultrapassar os problemas de comunicação, uma vez que, os requisitos do cliente, depois de traduzidos, são registados numa matriz criando deste modo um histórico de informação que pode ser facilmente examinado e modificado sempre que necessário. Permite, também, reduzir o ciclo de tempo de desenvolvimento do produto ao reduzir os erros de implementação e ao melhorar a comunicação e engenharia actual de apoio (Cohen, 1995).

O QFD não é apenas uma ferramenta de “priorização”, mas também uma ferramenta de desdobramento. Segundo Cohen (1995), desdobramento significa que o início do QFD consiste em ouvir a voz do cliente, e de seguida, traduzir essa voz numa linguagem que abre caminho para acções apropriadas. Ouvir a voz do cliente requer muita atenção e perícia por parte da equipa que está a reunir as necessidades do cliente. Quando a equipa não percebe bem as necessidades do cliente, as actividades de planeamento do produto, tornam-se confusas, o resultado é um planeamento do produto lento, aumenta custos de correcções e os produtos tornam-se menos competitivos (Cohen, 1995).

6.10.7 Interacção entre o QFD e a FMEA

O Desdobramento da Função da Qualidade (QFD) tem sido utilizado como suporte para os primeiros estágios do desenvolvimento de produto e o método da FMEA é utilizado no final do desenvolvimento para prevenir potenciais modos de falha. Segundo Ginn (1998), o problema em relação ao QFD e FMEA é que todo o seu potencial não é utilizado quando cada uma delas é utilizada isoladamente, pois uma é utilizada no início do desenvolvimento do produto e a outra no final, o que, normalmente ocorre na indústria automobilística.

Podemos fazer uma melhor utilização da FMEA se a aplicarmos no início do desenvolvimento, pois assim podíamos garantir, junto com o QFD, o desdobramento da voz do cliente até aos níveis de produto e processo.

Como podemos verificar ao longo deste estudo destas técnicas de gestão de qualidade tanto a QFD como a FMEA visam verificar a percepção do cliente em relação às funções do produto, ambas usam relações causa – efeito, ambas têm cálculos matemáticos para dar prioridade às funções críticas ao cliente, para que acções possam ser prioritárias e ambas requerem uma equipa multifuncional para serem executadas.

Contudo estas técnicas têm diferenças básicas, a QFD centra-se na satisfação e desempenho em relação ao cliente. Já a FMEA centra-se em manter as qualidades básicas do produto, visando atingir o nível esperado de qualidade.

As saídas básicas do processo de QFD são os requisitos do cliente, do produto, do processo e de controlo, ou seja, para cada ciclo ou matriz de QFD tem-se como resultado a prioridade dos requisitos. Já a FMEA tem como entrada os requisitos do cliente, do produto e do processo e informações sobre a importância relativa de cada uma das funções. Assim, segundo Stamatis (1995), a melhor maneira para se obter estas entradas da FMEA é utilizando as saídas da QFD.

Actualmente, conforme citado por Ginn (1998), o uso do QFD e da FMEA é restrito a algumas fases do desenvolvimento, além disto são vistos como métodos totalmente separados sem grande interface. O QFD é executado visando transformar as expectativas do cliente em características do produto, mas não é utilizado para agir preventivamente em relação às falhas nos requisitos prioritários. Já a FMEA é utilizado separadamente para reduzir riscos de falhas nos requisitos do cliente, mas normalmente não é levada em conta a prioridade do requisito levantada no QFD.

6.11 Fluxograma

Um fluxograma é um diagrama que permite representar em pormenor os passos de um processo, mostrando a sua sequência. Eles providenciam uma vista detalhada do processo, e aumentam a compreensão e como o processo funciona. Os fluxogramas são para o processo de produção como os mapas de estrada são para os condutores. Esta técnica pode ser utilizada em diversos contextos desde processos industriais de fabrico, procedimentos operativos, funcionamento de sistemas, processos administrativos.

Na sua construção são utilizados símbolos facilmente reconhecíveis, e com significado específico, para representar as várias etapas de um processo.

6.11.1 Procedimento de construção:

1. Decidir onde inicia e termina o processo a estudar;
2. Constituir uma equipa de trabalho (com 5 a 8 elementos) directamente envolvida no processo em causa;

3. A equipa deve chegar a consenso sobre as fronteiras do processo, as suas entradas, saídas, pontos de controlo e fases do processo. Deve ser definida a simbologia a utilizar;
4. A melhor maneira de criar um fluxograma é percorrer o processo com a equipa como se fossemos a coisa a ser processada ou criada.
5. Construir um esquema sequencial em folha de papel onde se listam todos os elementos, pontos de decisão, caminhos alternativos e devem ser tomadas notas durante o percurso;
6. Quando toda a equipa está de acordo acerca da disposição dos diferentes elementos, desenham-se as respectivas setas que os unem;
7. Após a construção do fluxograma, este deve ser comparado com o processo para assegurar que a descrição está correcta;
8. Se necessárias correcções devem ser feitas, e um processo deve ser estabelecido para garantir que o fluxograma é revisto periodicamente, ou seja que está sempre actualizado.

6.11.2 A utilização desta técnica tem várias vantagens:

Permitem clarificar, definir, estruturar e documentar processos, estimulando um trabalho de reflexão que pode conduzir á sua simplificação, optimização e redução de ciclos temporais;

Facilitam a identificação de possíveis causas e origens para determinados problemas;

Possibilitam a identificação de actividades que não acrescentem valor;

Incentivam o trabalho de grupo;

Uma vez construída, o conjunto de tarefas que representam e a forma como são realizadas deve ser desafiado periodicamente, conduzindo à melhoria contínua do processo em causa;

O Fluxograma é uma ferramenta que permite compreender e melhorar o processo laboral, cria uma compreensão comum de como o trabalho deveria ser feito, descobre eventuais lapsos ou inconsequência lógicas no processo, que são uma potencial fonte de problemas e examina fluxos complexos quanto á sua integridade;

Com o fluxograma do processo, a equipa pode identificar os passos repetitivos e ineficiências no processo;

Por vezes, dependendo das circunstâncias podemos interpretar caminhos alternativos;

Representar um processo de forma resumida.

6.11.3 Interacção entre um fluxograma e a FMEA

A utilização do fluxograma na FMEA, aumenta o entendimento do processo, que ajuda a equipa a identificar potenciais modos de falha, efeitos e soluções.

Conseguimos seguir o fluxo do processo e elaborar a FMEA de acordo com a correcta sequência do processo.

7 Conclusões

Visando atender aos objectivos principais propostos nesta dissertação de mestrado, a seguir serão apresentadas as conclusões referentes a cada um deles:

- a) Descrever o método (orientação) de uma forma que promova a uniformização do procedimento na criação das FMEA's;

No capítulo três, é apresentado o procedimento de criação das FMEA's, de forma simples e explícita com toda a informação que é necessária para a elaboração da FMEA. Este capítulo pretende funcionar como um guia de orientação para uniformizar o procedimento de elaboração e também para servir de manual para novos colaboradores que se iniciem a trabalhar com esta ferramenta.

- b) Descrever, utilizando a abordagem de processos, os métodos da gestão da qualidade destacados nesta pesquisa;

Os processos relevantes para esta dissertação foram descritos e concluiu-se que cada processo é normalmente tratado de forma individual, sem valorizar suas inter-relações com outros processos. Observou-se ainda que existe uma enorme potencialidade da interacção dos métodos com a FMEA.

Mais especificamente em relação á FMEA foram analisadas as causas do mau uso do método e suas limitações. Observou-se que o FMEA tem limitação e alguns erros em relação a cálculo do risco potencial, porém conclui-se que a não utilização efectiva do FMEA nas organizações não esta relacionada a estas limitações, e sim á falta de integração deste método com outros do Sistema de Gestão da Qualidade, tornando o FMEA um documento estático.

- c) Através da análise da FMEA e depois da análise dos vários métodos de qualidade identificar os principais problemas na integração dos actuais métodos do Sistema de Gestão da Qualidade;

Através da avaliação dos métodos utilizando-se uma abordagem de processos, de suas aplicações e através do estudo das interacções possíveis foi possível concluir que as principais causas da falta de interacção entre os processos são: o facto de cada um

deles visar o atendimento de objectivos e requisitos específicos do sistema e a falta de conhecimento das inter – relações. Para demonstrar mais claramente a potencialidade da interacção dos métodos de qualidade, foi elaborado um quadro explicativo (Anexo 9).

d) Propor uma forma de facilitar a integração entre os métodos do Sistema da Qualidade;

Uma nova abordagem para os métodos da qualidade, de forma a unificá-los em um único processo que seja capaz de atender a todas as necessidades do sistema. Concluiu-se que é possível, através de alterações nos métodos do Sistema de Gestão da Qualidade, uma integração total entre eles tendo como base a FMEA.

Com a integração dos métodos do Sistema da Qualidade surgiram características que não estão presentes em nenhum destes métodos sozinhos. Com isto conclui-se que a integração além de melhorar o desempenho dos métodos e do sistema gera novas funcionalidades ao sistema, tornando-o mais eficaz.

Visto que é baseado na análise de riscos, a abordagem proposta é focada na prevenção de falhas, proporcionando uma mudança de cultura na organização e facilitando o caminho desta na busca de zero defeito.

Com o concluir de todos os objectivos específicos é possível concluir que a abordagem integrativa dos vários métodos, tendo por base a FMEA vai potenciar todas as organizações.

Apesar de esta tese estar orientada para a indústria automobilística, não se limita a este sector. Os conceitos e proposições aqui apresentados aplicam-se a qualquer Sistema de Gestão da Qualidade.

7.1 Propostas para trabalhos futuros

Aplicação prática da abordagem integrativa proposta

Para viabilizar a implantação desta abordagem recomenda-se a aplicação da mesma numa organização que já tenha a certificação por normas da qualidade, como por exemplo a ISO 9000:2000.

Recomenda-se que a empresa seja certificada por normas da qualidade para evitar o trabalho excessivo na base do sistema da qualidade. Espera-se que o Sistema de Gestão da Qualidade já esteja estabelecido, para se poder trabalhar em alterações no sistema e nos seus processos para adequá-los ao conceito proposto e assim alcançar os níveis de performance próximos da excelência.

Criação de uma estrutura PFMEA *standard*

Criação de uma estrutura PFMEA *standard* por módulos com interligação entre os elementos, que irá servir de base a todas as novas PFMEA's para os projectos para que não exista perda de conhecimento (manutenção do histórico) assegurando a transversalidade das acções entre projectos/produtos e garantindo que erros do passado não se repitam no futuro.

A criação desta PFMEA *standard* irá permitir a simplificação da organização do processo de elaboração, de forma a tornar-se mais consistente, menos moroso e mais completo, bem como tornar o trabalho mais perceptível para os clientes e para os restantes departamentos.

Bibliografia

Akao, Yoji, "Hoshin Kanri: policy deployment for successful TQM", Productivity Press, Portland, 1990.

Bosch, Booklet 14: Failure Mode and Effects Analysis – FMEA, 2006.

Bosch, Statistical Process Control SPC, Quality Management in the Bosch Group | Technical Statistics, 4ª Edição, 2005.

CDQ 0305 Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).

CDQ 1105 Analysis and implementation of quality requirements from OEMs and their suppliers.

CDQ 0306 Treatment of Special Characteristics.

CDQ 0609 Agreements with Suppliers on Quality Assurance.

C/AS corporate directive R05/05 dated 12.06.07: Customer communication of FMEA/DRBFM/Control Plan.

Camargo, E. e Tavares, G., Estudo de Capabilidade do Processo de Fabricação de uma Empresa Fornecedora de Cabos, Universidade Federal de Itajubá – Engenharia de Produção - Trabalhos de Formatura, 2002.

Clausing, Don. (1994) Total Quality Development: a step-by-step guide to world-class concurrent engineering.

Chen SM, Hsu NF, The asymptotic distribution of the process capability index: Cpmk. Communications in Statistics— Theory and Methods, 1995.

Chien, Te-King and Chao-Ton Su, "Using the QFD concept to resolve customer satisfaction strategy decisions", International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 20 Nº 3, 2003.

Cohen, Lou, "Quality function deployment: how to make QFD work for you". Massachusetts: Addison-Wesley, 1995.

Crosby, Philip B. Qualidade – Falando sério. Editora McGraw-Hill, 1990.

Delgado, P., *SPC – Guia de Formação*, Bosch 2004.

Deming, Edwards, Japanese Methods for Productivity and Quality; George Washington University, 1981.

DFSS001 DFSS Green Belt - Basics of the DFSS methodology, application possibilities in product evolution process.

DRBFM001 DRBFM Basics training - Training and project processing, understanding the method and working in a team.

DIN 25448, May 1990 Failure mode and effects analysis.

Helman H., Andery, P. R. P.. Análise de Falhas (Aplicação dos métodos de FMEA – FTA).

Ford. Quality System Requirements - QS-9000. USA, 1994.

Fasser, Yefim; Brettener, Donald. Management for Quality in High-Technology Enterprises. 1 ed. New York: Wiley-Interscience, 2002.

Ginn, D.M.; JONES, D.V.; RAHNEJAT, H.; ZAIRI, M. The QFD/FMEA Interface. European Journal of Innovation Management, 1998.

Griffith, Gary, K., "The Quality Technician`s Handbook", Prentice – Hall, 2000.

Govers, Cor P.M., "QFD not just a tool but a way of quality management", Int. J. Production Economics, vol. 69, 2001.

ISO TS 16949:2002 Quality management systems — Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organisations.

ISO, “International Standard, ISO 9000:2000 – Quality management systems, Fundamentals and vocabulary”, 2000.

ISO, “International Standard, ISO 9000:2000 – Quality management systems, Requirements”, 2000.

ISO, “International Standard, ISO 9000:2000 – Quality management systems, Guidelines for performance improvements”, 2000.

ISO, “International Standard, ISO 19011:2002 – Guidelines for quality and/or environmental management systems auditing”, 2002.

ISO, “International standard, ISO/TS 16949:2002 - Quality management systems - Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations”, 2002.

ISO/TC22 N2416 (27.01.2004 Draft) Road Vehicles- FMEA for Design, Manufacturing and Assembly, Machinery.

Juran, J., M., “A Qualidade desde o Projeto: Novos Passos para o Planejamento da Qualidade em Produtos e Serviços”, Pioneira, Thomson Learning, 1992.

Juran, Joseph M. Juran`s Quality Handbook, Fifth Edition. McGraw-Hill, 2000.

Jagdev, H., P. Bradley, O. Molloy, “A QFD based performance measurement tool”, Computers in industry, vol. 33, 1997.

Kececioglu, D., Reliability Engineering Handbook. Vols. 1 and 2, Prentice Hall, 1991.

MM001Basics workshop - Moderation - Chairing and moderating discussions, role of the moderator, moderation methods and aids.

Macdermott, Robin, Mikulak, Raymond, Beauregard, Michael, "The basics of FMEA", Quality Resources, New York, 1996.

Manual de Referência QS 9000, *CEP, Fundamentos do Controlo Estatístico do Processo*, Referência QS9000; Chrisler, Gm, Ford, 1997.

RB/GF 108/A4 Release of Classified Information to Third Parties.

RB/GF 169/A3 Purchasing.

RB/GF 146/A3 Decisions on In-House Sourcing versus Sourcing from Outside Suppliers.

Stamatis, D. H., "Failure mode and effect analysis FMEA from theory to execution", ASQC Quality Press, Milwaukee, 1995.

Sousa, Sérgio, D., "Gestão e Controlo da Qualidade", Apontamentos de suporte às aulas teórico – prática, 2007.

Manual de Referência QS 9000, *CEP, Fundamentos do Controlo Estatístico do Processo*, Referência QS9000; Chrisler, Gm, Ford, 1997.

TQ012 IQ-FMEA - Structure and functions of SW tools IQ FMEA, benefits of creating and documenting FMEA.

TQ013 FMEA moderators workshop - Systematic procedure and moderation of FMEA projects.

TQ071 FTA Basics workshop - Getting acquainted with and understanding the method, working in a team on FTA creation.

VDA 4 Chapter 3 (2007) Assurance of quality before introducing in series production (System FMEA).

Wisinski, Jerry, Como Resolver Conflitos no Trabalho. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

Wadsworth, Harrison M. Juran's Quality Handbook Fifth edition– Statistical Process Control. Mc-Graw Hill, 2000.

Referências web

www.blaupunkt.pt

www.bosch.pt

www.google.com

www.b-on.pt

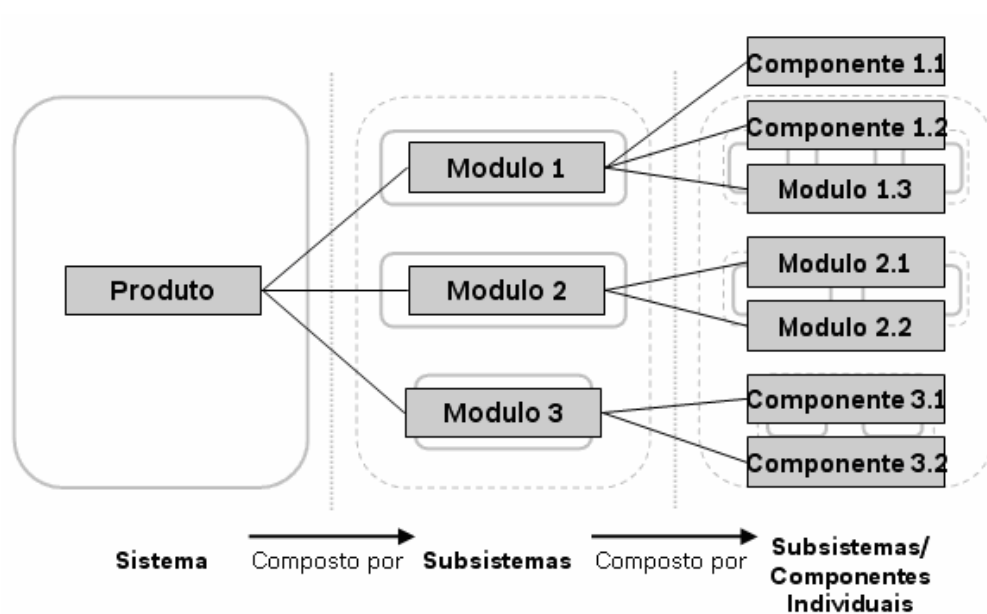
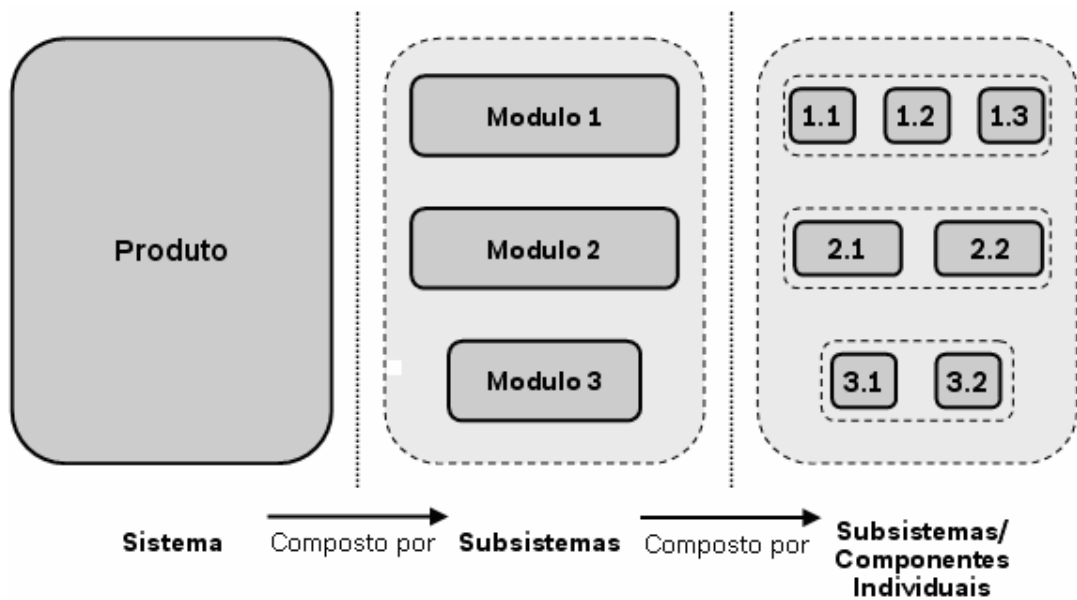
Anexos

Anexo 1: Lista de verificação de requisitos

Product:	Application (customer, model, etc.):		
Start of production	Development order number:	FMEA no.:	
Project leader:	Author:	Version, Date	
Official requirement documents (product, system requirement specification), version, date:			
Remarks:			

Requirement				Open points			
No.	Category	If necessary, description	Reference	Action	Responsible	Deadline	completed (yes/no)
1	Function / performance						
2	Operating conditions / application case						
3	Manufacturing						
	RB						
	Suppliers						
	Assembling / disassembling on OEM/in field						
4	Compatibility with other products						
	Predecessor						
	Competition						
5	Legislations / standards						
6	Safety / reliability						
	Monitoring / ability to be monitored						
7	Environment / recycling						
8	Logistics / service						
9	Ergonomics, service						
10	Known problems from the past						
11	Subcomponents						
12	Other:						

Anexo 2: Figuras explicativas da correlação entre o diagrama de blocos, o fluxograma e a estrutura do sistema



Anexo 3: Exemplo de formulários de uma FMEA e como deve ser elaborado


BOSCH QUALITÄTSSICHERUNG		*-FMEA								Page: Dept.: FMEA-No.: Date:			
No.	Components	Function	Failure type	Failure effect	K	Failure cause	Failure prevention	Failure detection	S	O	D	RPN	Actions V: / T:
Which number has the concerned compon. /process element?	Which components /process elements are to be analysed?	Which functions are to be fulfilled?	Which possible failure types (FA) adversely affect the function?	Which failure chain (FF) has the failure type?	Which special feature has to be ascertained?	Which direct failure causes (FU) are possible?	Which actions for failure prevention have been introduced?	Which actions for failure prevention have been introduced?	How high is the severity (S) of the failure effect?	What is the probability of the occurrence of the failure?	What is the probability of detection of the failure?	RPN	Which actions are to be introduced for reducing risk (S, O, D)? Who is responsible? Which introduction deadline is planned?

(S) Severity (O) Probability of occurrence (D) Probability of detection (RPN) Risk priority number
(C) Classification (R) Responsibility (T) Target completion date

BOSCH QUALITÄTSSICHERUNG		*-FMEA (Field consideration)								Page: Dept.: FMEA-No.: Date:			
No.	Components	Function	Failure type	Failure effect	K	Failure cause	Failure prevention	Failure detection	B	A	E	RPZ	Actions V: / T:
Which number has the concerned compon. /process element?	Which components /process elements are to be analysed?	Which functions are to be fulfilled?	Which possible failure types (FA) adversely affect the function?	Which failure chain (FF) has the failure type?	Which special feature has to be ascertained?	Which direct failure causes (FU) are possible?	Which actions for failure prevention have been introduced?	Which actions for failure prevention have been introduced?	How high is the severity (S) of the failure effect?	What is the probability of the occurrence of the failure?	What is the probability of detection of the failure?	RPZ	Which actions are to be introduced for reducing risk (S, O, D)? Who is responsible? Which introduction deadline is planned?

(S) Severity (O) Probability of occurrence (D) Probability of detection (RPN) Risk priority number
(C) Classification (R) Responsibility (T) Target completion date

Anexo 4: Exemplo de uma capa da FMEA


 BOSCH QUALITY MANAGEMENT	Cover sheet Failure Mode and Effect Analysis			FMEA No.: ABC-123 FMEA-pages: Edition: 1 Date 30.11.2008
Distributor: Departments/associate, Which need the FMEA for project work The FMEA distributor is determined specific to the business division	Product: [is taken from the structure] Part type number: [is taken from the structure] Customer:			
Original file: Place of the original File management	1. Task : <ul style="list-style-type: none"> Reason of the FMEA creation, as a new product and/or techniques, changes on the product and/or techniques, etc. Viewing range If needed, agreement with business division on overall projects Reference onFMEA 2. Result: <ul style="list-style-type: none"> Results from the analysis, such as highlights, top risks as number of the special characteristics, evaluations Legitimate information about the possible inconsideration of RB or business division FMEA control. Arrangements Description of the internal determined "special characteristics", which are and agreed upon by the customer, also reference on separate list with explanations 3. Measures: <ul style="list-style-type: none"> Number of defined measures Distinctive features of the actions to be taken Number of open actions Completion of the actions 			
FMEA working team: All team members without the moderator	4. Arrangements: <ul style="list-style-type: none"> Forms listing of the enclosed FMEA evaluations (frequency analysis and schedule) Reference to-FMEA Listing of the documents (e.g. drawings, standards) which are required for the FMEA understanding Varying rating catalogue Agreement with the customers, failure number, etc. 5. Remarks (optional): <ul style="list-style-type: none"> Explanations to the above executed points. 			
Creation	Agreement			Execution
Moderator Name: Dept.: Date: Signature:	Dept.: Date: Signature:	Dept.: Date: Signature:	Dept.: Date: Signature:	Person responsible Dept. head Dept.:
Contact .AG Name: Dept.: Date:	Dept.: Date:	Dept.: Date:	Dept.: Date:	Person responsible for follow-up and updating

Anexo 5: Exemplo de vários formulários da FMEA


→ VDA 96

		BOSCH						Nummer:	
								Seite:	
Typ/Modell/Fertigung/Charge:				Sachnummer:		Verantwortlich:		Erstellt:	
				Maßnahmenstand:		Firma:			
FMEA/Systemelement:				Sachnummer:		Verantwortlich:		Erstellt:	
				Maßnahmenstand:		Firma:		Verändert:	
Fehlerfolge	B	Fehlerart	Fehlerursache	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T


→ Bosch

		BOSCH						SEITE:				
		ERZEUGNIS:						ABT.:				
		SACH-NR:						FMEA-NR.:				
								DATUM:				
NR.	KOMPONENTE PROZESS	FUNKTION	FEHLER- ART	FEHLER- FOLGE	FEHLER- URSACHE	FEHLER- VERMEIDUNG	FEHLER- ENTDE- CKUNG	B	A	E	RPZ	MASSNAHMEN V./T:

→ QS 9000 (Edition 3)


		BOSCH						Nummer:								
								Seite:								
System:		Untersystem:		Komponente:		Konstruktionsverantwortung:		Vorbereitet von:								
Teil:						Abschlussstermin:		Erstellt:								
Modell Jahr(e)/Fahrzeug(e):								Bearbeitet:								
Team:																
Funktion	Fehler- art	Fehlerfol- ge	B	Fehlerursa- che	A	Vermeidungs- maßnahme	Entdeckungs- maßnahme	E	RPZ	Empf. Maß- nahme	V/T	Getr. Maß- nahme	B	A	E	RPZ

→ Bosch

		BOSCH						SEITE:				
		ERZEUGNIS:						ABT.:				
		SACH-NR:						FMEA-NR.:				
								DATUM:				
NR.	KOMPONENTE PROZESS	FUNKTION	FEHLER- ART	FEHLER- FOLGE	FEHLER- URSACHE	FEHLER- VERMEIDUNG	FEHLER- ENTDE- CKUNG	B	A	E	RPZ	MASSNAHMEN V./T:

Anexo 6: Definição do formulário da FMEA e uma breve explicação do seu preenchimento (no caso da Bosch)

O método é formalizado através de um documento em que o cabeçalho do documento é constituído com campos a ser desenvolvidos á medida da realização da FMEA.

 BOSCH			System-FMEA						Page: Department:				
Quality Assurance			Product: Number:						FMEA-Number: Date:				
No.	Component or Process	Function	Failure modes	Failure effects	C	Failure causes	Failure prevention	Failure detection	S	O	D	RPN	Actions R./i:
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)

Vamos fazer uma breve descrição de cada um dos itens deste formulário, pois sobre este formulário e esta técnica que recaiu o meu estágio na *Blaupunkt*.

N.º: O n.º serve para a identificação clara da causa do defeito e a correlacionar o processo individual na FMEA com o PQP do produto. Na FMEA a 1ª parte do número é o número da operação do PQP e a 2ª parte é o número de série para a causa do defeito.

A numeração pode ser feita directamente na estrutura ou no formulário da FMEA finalizado para cada causa do modo de falha. Esta regulamentação de numeração é válida para todas as novas P-FMEA criadas e para FMEA's revistas ou que estão a ser actualizadas.

Component/Process: Operações/passos do processo que tem de ser analisados.

Function: a FMEA de processo tem que abordar todas as funções (plano de trabalho) e características das peças (desenhos). Por exemplo:

Função: Segurar a peça A à peça B, na posição correcta, com 2 parafusos usando uma aparafusadora, com o torque xx ilustrado nas 7Gs.

Modos de Falha:

Sem função: Peça A solta.

Função parcial/degradada: Peça A segura na posição errada, 1 ou mais parafusos soltos, 1 ou mais parafusos com o torque abaixo da especificação, 1 ou mais parafusos acima da especificação, etc.

Failure Mode: a FMEA do processo analisa todas as potenciais falhas do processo, estas podem ser deduzidas das funções requeridas do processo e das características das peças.

Failure Effects (Consequência): pequena e precisa descrição do resultado do modo de falha no mais alto nível do sistema (produto ou performance do sistema) ou no ambiente do cliente (externo ou interno). Esta descrição deve ser feita em diferentes passos – directa, seguinte, fim. Pode ser deduzida do design ou da FMEA do sistema. Por exemplo:

No cliente final: Ruído, inoperativo, instável, má aparência, intermitente, insatisfação do cliente.

Nas operações seguintes: Não pode ser montado, não encaixa, não faz conexão, danifica o equipamento, perigo para o operador.

Special Characteristics: podem ser resultantes dos requisitos do cliente ou de especificações da fábrica, que afectam o produto e o processo.

Failure Causes: mencionar todas as possíveis causas do defeito (4). A causa actual tem de ser descrita de forma a se encontrar a medida necessária para melhorias que podem ser introduzidas directamente. O termo processo inclui todas as secções do processo, desde do fornecimento de material ao transporte, a produção actual, limpeza, montagem, embalagem, armazenamento ao fornecimento do cliente. Por exemplo: torque incorrecto, pressão incorrecta, falta de lubrificação, *setup* errado, temperatura errada, falta de peça, ferramenta partida, programa errado, etc.

Deve-se iniciar sempre pela a análise das causas com o maior valor de severidade.

Brainstorming potenciais causas para cada modo de falha a perguntar:

- a. Em que circunstancias pode causa falha de um item importante para o desempenho da função?
- b. Como pode o item falhar relativamente ao cumprimento das especificações?

- c. Como as podem interacções ser incompatíveis? Quais as especificações de compatibilidade?
- d. Qual o histórico (outras FMEA's) relativamente ao defeito?

Fases na identificação da causa:

1. Peças/material está correcto (avaliar-se-ão todas as possíveis causas relativamente ao processo, ex: torque alto/baixo, tempo de cura demasiado baixo, velocidade do *convoyer* inconstante)

2. Considerar as variações dos materiais fornecidos (ex: material demasiado duro/demasiado mole; dimensões fora das especificações; acabamentos da superfície não cumpre os requisitos)

Failure prevention: acção preventiva tomada durante as preparações da produção para prevenir que a causa da falha ocorra ou para complicar a sua ocorrência.

Failure detection: acções direccionadas na detecção de defeitos o mais cedo possível no processo de forma a prevenir que produtos defeituosos cheguem ao cliente. Processos em controlo previnem defeitos e devem ser preferidos em relação à inspecção.

Apenas os testes estabelecidos ou obrigatórios e detecções no processo devem ser tidos em consideração.

Na PFMEA, é distinguido entre falhas sistemáticas e ocasionais. O SPC – inspecção por amostragem é uma acção de detecção para falhas sistemáticas mas não para falhas ocasionais. Falhas ocasionais podem ser detectadas com inspecções a 100% ou em operações de trabalho que não podem ser realizadas. Para auxílio na análise podemos utilizar o plano de controlo, *checklists*, histórico da FMEA, 8D (acções para correcção e actuar na causa raiz), etc.

Quando não se sabe ou não pode ser estimado o nível de detecção então D=10.
Quando não existem meios de prevenção da causa então O=10.

Relevance of failure consequence (S): avaliação do efeito no fim do sistema e/ou no cliente do modo de falha. Este valor só poderá ser alterado se, se verificar uma alteração das características de conceito do produto ou alteração das características do processo => eliminar o modo de falha ou alterar o seu efeito.

Occurence probability (O): reflecte a probabilidade de um modo de falha ocorrer como consequência de determinada causa. A relação de defeitos da tabela são baseadas

no número de defeitos que se espera que ocorram relativamente ao tempo de vida do produto. Devem ser considerado as experiências da empresa, 0km e campo.

Detection probability (D): avaliação dos testes e medidas de detecção da produção e montagem. Os valores estão orientados no critério verbal ou nas porções de peças não detectadas em relação aos itens não conformes no lote.

Acções de detecção que apenas irão detectar falhas após a aprovação do produto devem ter valor D=10.

Risk Priority Number (RPN): é o resultado do produto do S, O e D.

	Risk Priority Number		
S – Importância da consequência do defeito	RPN	RPN > 125	50 < RPN < 125
O – probabilidade de ocorrência	SxOxD	Acções Obrigatórias	Acções de Melhoria Continua
D – Probabilidade de detecção			

Os valores do RPN, S, O e D mostram os riscos. Se temos valores altos de qualquer um deles são necessárias acções de melhoria:

O Objectivo do FMEA é conseguir que as acções tomadas consigam que o RPN = 0, daí consegue-se que não haja defeitos no cliente.


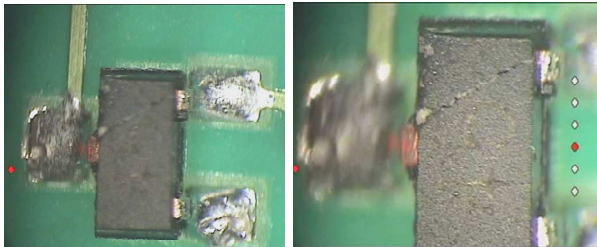
Actions R:/I: depois das acções escritas na FMEA estas tem de ser completas pelo responsável (R) na data (I).

A FMEA é um documento que deverá ser actualizado e revisto sempre que se verifique alterações no produto ou processo, defeitos de campo ou 0 km (acções devem ser incluídas e reavaliadas), o responsável pela actualização deve ser informado pelo responsável da introdução da melhoria de qualidade após esta estar introduzida, a eficiência das melhorias introduzidas devem ser verificadas e se necessário os valores S, O e D revistos. A FMEA é uma ferramenta bastante importante para uma empresa, se devidamente manuseada e compreendida.

Anexo 7:Folha de resolução de problemas

BPS Bosch Production System		Folha Resolução Problemas		No.:	
1 Definição do problema	Descrição problema:				
	MOEX	Desenho, Foto			
	Linha				
	Produto				
	Data, hora				
	Turno				
	Operador				
2 Análise dos factos	Descrição:		O problema é	O problema não	
	O que é exactamente o problema?				
	Onde ocorreu exactamente o problema?				
	Quando ocorreu exactamente o problema?				
	Com que frequência ocorreu o problema?				
3 Contenção	Nº	Acção de contenção (previne a continuidade do problema)	Responsável	Data, hora	
4 Análise dos dados	Responsável pelo problema		Equipa		
	Dados suporte		7 Análise da eficácia	Dados suporte	
5 Análise das causas raiz	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div>Humano</div> <div>Máquina</div> <div>Material</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div>Método</div> <div>Meio Amb.</div> <div></div> </div> <div style="position: absolute; top: 20px; right: 20px; border: 1px solid black; padding: 5px;"> Problema: </div>				
	1		2	3	
	Porquê?		Porquê?		
	Porquê?		Porquê?		
	Porquê?		Porquê?		
	Porquê?		Porquê?		
	Porquê?		Porquê?		
	Porquê?		Porquê?		
	6 Acções correctivas	Nº.	causa raiz	Acção	Responsável
	1				
2					
3					
4					
5					
8 Standardização	Standardização		Resp.	Data	
	QA-Matrix (Firewall)				
	P-FMEA				
	Trabalho standard				
	Documentos da produção				
Desenhos					
Justificação para a não alteração dos standards		Justificação para a não necessidade de yokoten:			
9	MOEX	TEPT	MOEX	Chefe de linha	
	Data			Responsável do problema	

Anexo 8:Aplicação da folha de resolução de problemas (no caso da Bosch)**Fase 1: Definição do problema**

		Folha Resolução Problemas		No.: QM305703
1 Definição do problema	Descrição problema:		Display não tem luz	
	MOEX	MOE24		Desenho, Foto: 
	Linha	Linha 9		
	Produto	Fiat 199 CD SB05-7646314316 (nº série 8841734)		
	Data, hora	08-02-2007-8D		
	Turno			
	Operador			
	Chefe de Linha			

O problema deve ser descrito detalhadamente. É esta a função do primeiro bloco da folha de resolução de problemas:

Descrição do problema: Descrição do tipo de desvio (ex. o tipo de defeito);

Fábrica: Identificação da fábrica onde surgiu o problema;

Linha: Identificação do sistema de produção onde surgiu o problema;

Produto: Identificação do produto com o número de peça onde surgiu o problema actual;

Turno: Identificação do turno onde surgiu o problema (1º, 2º, 3º turno,..);

Colaborador: Nome do colaborador, que detectou o problema; parou a linha;

Líder da equipa: Nome do líder da equipa, que reagiu ao problema;

Data, hora: Momento em que o colaborador parou a linha;

Esquema, foto: Eventual visualização do problema.

Fase 2: Recolha de factos

A recolha dos factos e a definição do problema são inseparáveis. Os factos são recolhidos no local da ocorrência do problema com a peça em causa e no momento em que surge.

É importante concentrar-se nos factos. As suposições e as opiniões têm que ser sempre comprovadas por factos. A recolha dos factos baseia-se na sistemática de um questionário normalizado que determina o que “o problema é” e o que “o problema não é”.

É importante confrontar informações comparáveis referentes ao que “o problema é” e à sua fronteira para o que “o problema não é”.

2 Análise dos factos	Descrição:	O problema é	O problema não
	O quê é exactamente o problema?	No radio A falta parafuso na blenda	Radio B ; C ; D poderia ter faltado outro ou outros parafusos
	Onde ocorreu exactamente o problema?	Noca snto superior direito da blenda o defeito aconteceu na maquina Z do posto 50 da LINHA 4 NO BRAÇO ESQUERDO. O DEFEITO FOI ENCONTRADO NO vq	Em todos os locais dos parafusos no parafusamento na montagem da blenda controlo 2
	Quando ocorreu exactamente o problema?	Nunca até hoje tinha acontecido hoje apareceu no primeiro turno as 11:30 depois do almoço já foram produzidos 20 000 aparelhos	Qualquer altura poderia ter acontecido no restante dia ou nos outros turnos.
	Com que frequência ocorreu o problema?	Um aparelho com blenda sem um parafuso há probabilidade de voltar a acontecer	poderiam ter faltado mais parafusos (até 10) em mais blendas oderia no resto do dia e no turno anterior acontecer

Para facilitar a recolha dos factos nos cinco campos existem outras perguntas auxiliares na folha da resolução de problemas. A tabela seguinte mostra as perguntas auxiliares com as explicações elucidativas referente ao procedimento correcto.



Recolher as respostas à pergunta **o quê?** É a base para uma definição detalhada do problema. Serve para obter características e particularidades e representa, portanto, um complemento à primeira fase da folha de resolução do problema. As perguntas sobre **onde?** Servem para delimitar o problema. Questiona o local onde o problema aconteceu.

Descrição do problema		É	NÃO É
O QUÊ	Que objecto ?	Qual o objecto que tem o defeito ?	Que outros objectos poderam ter o defeito, mas que de facto não o tem ?
	Que defeito ?	Qual é o defeito ?	Que outros defeitos semelhantes poderiam ser observados no objecto, mas que de facto não o foram ?
ONDE	Onde, no objecto ?	Onde especificamente no objecto é visto o defeito ?	Em que outro sítio, no objecto, poderia ter-se observado o defeito, mas não se observou ?
	Onde foi observado, pela 1ª vez ?	Onde (geograficamente) está o objecto defeituoso observado ?	Onde, noutro sítio (geograficamente), se poderia ter observado o objecto defeituoso, mas de facto não se observou ?
	Onde foi observado, desde então ?		
QUANDO	Quando foi observado pela 1ª vez ?	Quando foi o defeito observado pela 1ª vez ?	Quando poderia o defeito ter sido observado pela 1ª vez, mas que de facto não foi ?
	Que padrão desde então ?	Quando desde a 1ª observação, foi o defeito observado novamente ?	Que outro padrão de tempo de ocorrência do defeito podia ter sido observado, mas não foi ?
	Quando no ciclo de vida ?	Quando é que o defeito foi visto no ciclo de vida do objecto ?	Em que outra altura, no ciclo de vida se podia ter observado o defeito, mas não se verificou ?
DIMENSÃO	Quantos afectados ?	Quantos objectos tem o defeito ?	Qual a proporção do total poderia ter o defeito, mas que de facto não o tem ?
	Defeitos por objecto ?	Quantos defeitos por objecto ?	Quantos defeitos por objecto se podia ter observado, mas não se verificou ?
	Tendencia ?	Qual a tendencia da quantidade ?	De que outro modo a tendencia da quantidade se podia ter desenvolvido ?

Quando? Questiona o primeiro aparecimento ou o aparecimento frequente do problema.

Quanto? É importante como recolha dos factos para criar uma base de dados para o controlo da eficácia.

As acções imediatas para a resolução do problema, assim como o escalonamento efectuado também devem ser registados.

3 Contenção	Nº.	Acção de contenção (previne a continuidade do problema)	Responsável	Data, hora	Status
	1	<i>Recontrolo de stock</i>	MOE1	23-08-2007	
					
	Escalonado por		Escalonado para		Data, hora
	MOE21\J. Soares		MOE12\R. Santos		24-08-2007

Fase 4: Análise dos dados

Na primeira fase da análise dos dados são registados o responsável pelo problema e a equipa.

4	Responsável pelo problema:	Equipa:	
	Dados suporte:	7	Dados suporte:
Análise dos dados		Análise da eficiência	

Na análise de dados é possível reforçar os factos através de dados estatísticos e análises. Os métodos preferenciais a utilizar são as ferramentas:

Análise Pareto, Sequência do valor original, Histograma;

Também é possível utilizar outros métodos (Seis Sigma etc.), dependendo da gravidade ou complexidade do problema.

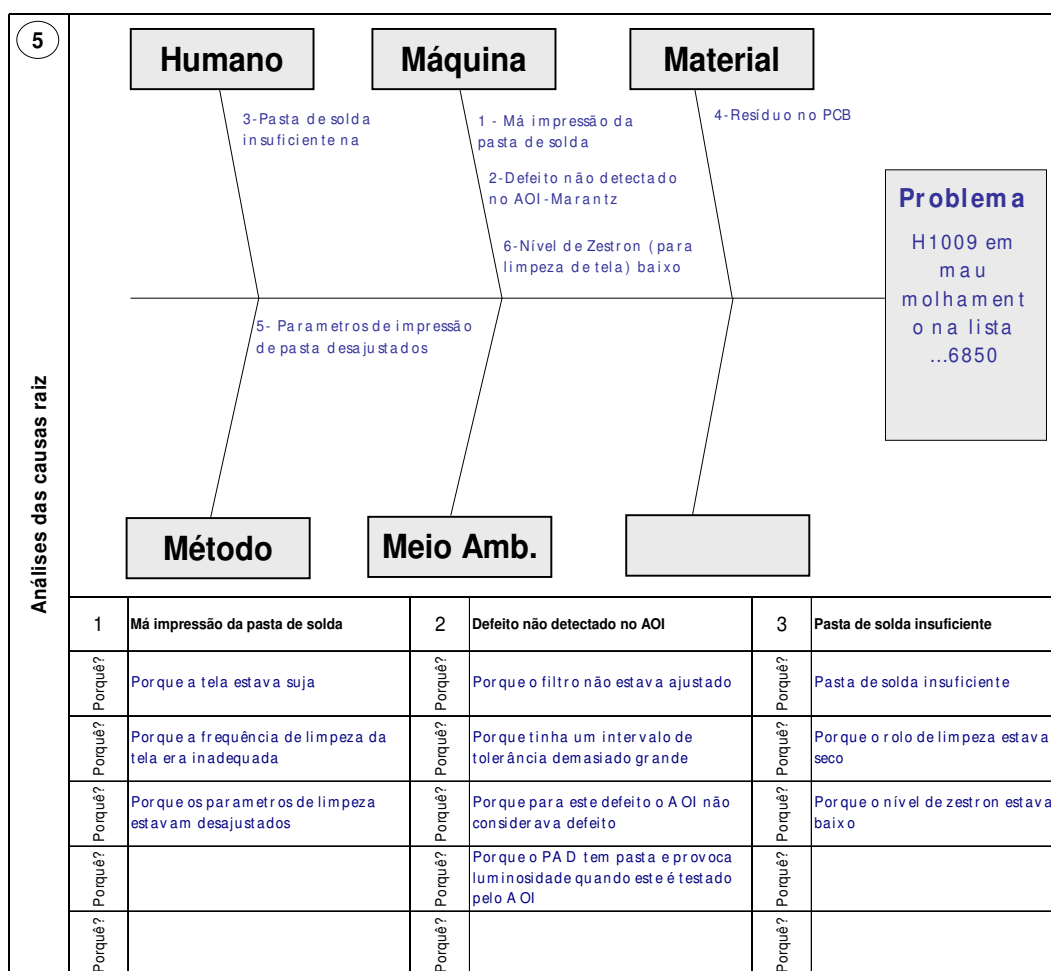
A recolha de outras características de diferenciação do que “**o problema é**” e do que o “**problema não é**”, dos factos reunidos na fase 2 faz sentido neste campo.

4	Responsável pelo problema:	Equipa:	
	Dados suporte:	7	Dados suporte:
Análise dos dados		Análise da eficiência	

Fase 5: Análise das causas

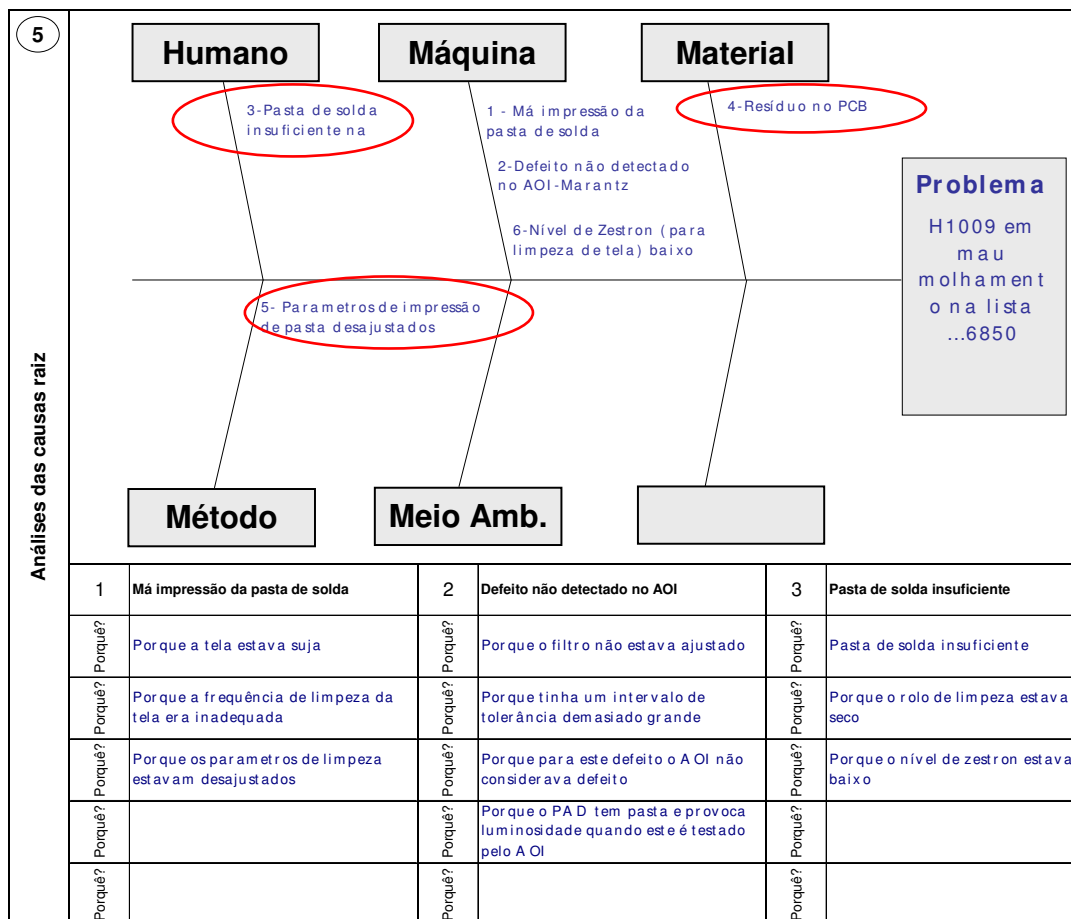
Na primeira fase pesquisam-se os factores de influência que originaram o problema existente utilizando o diagrama de espinha. O problema já foi delimitado pelos factos e dados existentes e pode, consequentemente, ser descrito claramente. A classificação de acordo com as influências principais homem, máquina, material, método e meio ambiente tem-se mostrado eficaz na descoberta das influências relevantes. As seguintes perguntas devem ser respondidas:

Todas as causas possíveis são novamente avaliadas sob o aspecto de explicar “o problema é” referido na fase 2.



Destas causas possíveis são seleccionadas e seguidas no máximo 3 causas potenciais. Se existirem mais de 5 causas a selecção efectua-se de acordo com o bom senso.

As causas seleccionadas são separadas conforme a sua verdadeira causa aplicando a técnica de questionário dos 5x porquês. Responder à última pergunta *porquê* permite descrever *uma* causa verdadeira do problema. As acções de melhoria devem basear-se nesta resposta.



Quando se aplica o método dos 5 x *porquês* deve-se ter em consideração o seguinte:

Em todas as fases intermédias evidencia-se a interligação da causa e do efeito, isto é, a pergunta também se aplica no “sentido inverso”;

Formular as respostas de forma concreta; existe uma opinião consensual da equipa;

Antes da implementação das acções recomenda-se a confirmação da verdadeira causa no local da ocorrência e reprodução do problema.

Fase 6: Acções

É necessário definir acções para cada causa verdadeira. Estas acções são descritas usando os seguintes dados:

- 1.Causa: Referência às 3 causas da fase 4 (números admitidos 1, 2 e 3);
- 2.Acção: Descrição verbal da acção de melhoria;
- 3.Responsável: Nome e departamento do responsável pela implementação da acção.
- 4.Prazo: Prazo da implementação com sucesso da acção de melhoria;

5. Status:



Acção definida 1. – 4.



Acção em fase de implementação



Acção terminada



Resultado confirmado

6 Acções correctivas	Nº.	causa raiz	Acção	Responsável	Data	Status
	1	1 e 3	Realização de auditorias internas: inspecção parametros de impressão e verificação do nível de Zestron	M OE12	31/06/07	
	2	1	Formação e sensibilização dos operadores	F. Oliveira/M OE11	21-05-2007	
	3	2	Optimização do filtro do A OI-M arantz	A OI/M OE12	21-05-2007	
	4	3	Inclusão da verificação do nível de zestron no check list de arranque	M OE12	31/06/07	
	5					

Fase 7: Controlo da eficácia das acções

Uma fase importante do processo é o controlo da eficácia das acções após a sua implementação. As acções devem ser implementadas *uma após outra* de acordo com as prioridades definidas pela equipa.

Para cada acção ter em conta:

A acção é eficaz:

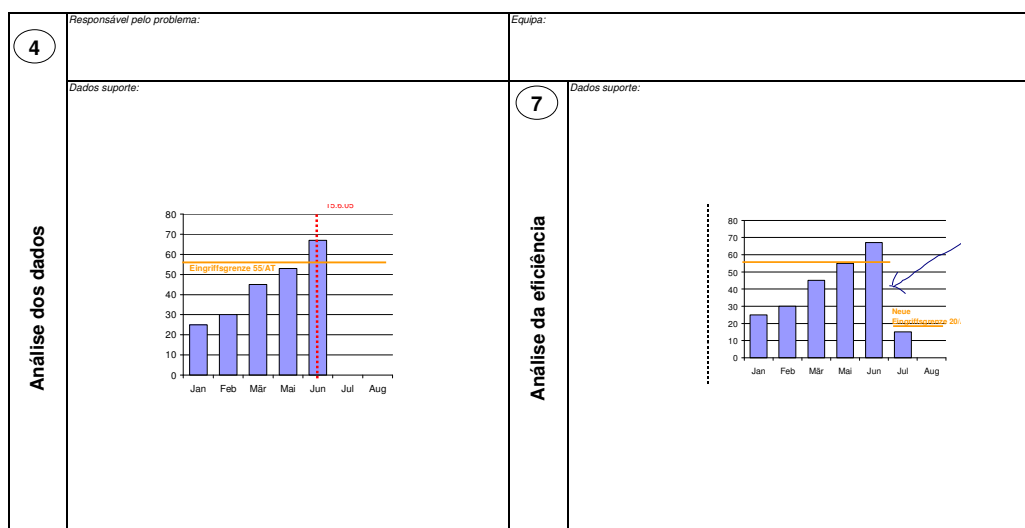
- O problema já não aparece mais ou aparece muito menos;
- O efeito da acção foi reconhecido;

A acção não é eficaz:

Análise da falta de eficácia;

Implementar a próxima acção ou definir uma acção alternativa;

A eficácia deve ser apresentada em gráfico e considerar o efeito nos dados e factos da fase 4.



Fase 8: Padronização

Para garantir a permanência das melhorias é necessário definir as acções como padrão. A padronização assegura a eficácia das acções a longo prazo. Através de determinada formação e instrução aos colaboradores, assim como através da confirmação contínua do processo. Isto acontece por exemplo, através redução dos limites de reacção que facilitam uma intervenção imediata no caso do problema voltar a surgir.

Os padrões alterados são registados na folha da resolução do problema junto com os responsáveis e os prazos. Os padrões mais importantes já estão predefinidos: matriz QA, FMEA, trabalho padronizado, desenho do produto.

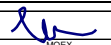
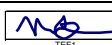
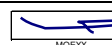
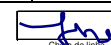
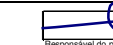
8	Standardização	Resp.	Data	Yokoten (Transferência da informação)	Resp.	Data
Standardização	QA-Matrix (Firewall)					
	P-FMEA					
	Trabalho standard					
	Documentos da produção					
	Desenhos					
	Justificação para a não alteração dos standards			Justificação para a não necessidade de yokoten:		

Cada acção influencia normalmente um padrão. Se, em casos excepcionais, este não for o caso, é necessário colocar o motivo no respectivo campo previsto.

Para além da padronização o encaminhamento da informação para as áreas e fábricas, onde podem surgir os mesmos problemas, também é importantíssimo. A designação japonesa é *Yokoten*. Aqui, a folha da resolução do problema serve como portadora de informação, pois contém todas as informações necessárias.

Fase 9: Conclusão da folha de resolução do problema

A folha de resolução de problemas fica completamente concluída depois de registada a data da conclusão e assinada pelo responsável pela resolução do problema. A resolução do problema tem que ser aceite pelos chefes das linhas e dos departamentos e documentada respectivamente. A folha da resolução do problema é documentada na linha e pode ser utilizada para futuras resoluções de problemas, se necessário.

9	 MOEX	 TEF1	 MOEXX	 Chefe de linha	Data: 18-06-2007	 Responsável do problema
---	---	---	--	---	------------------	--

Para facilitar a documentação recomenda-se numerar as folhas de resolução do problema. Para esse efeito existe um campo no cabeçalho. Em relação à numeração e ao encaminhamento da informação pode fazer sentido criar um índice que permite uma classificação clara por

Fábrica;

Linha;

Estação;

Índice de alteração da folha de resolução do problema.

Anexo 9: Quadro explicativo da interacção das diversas ferramentas de qualidade

	FMEA	PQP	8D	SPC	Inspecções e Auditorias do produto/processo
Entradas	Necessidades dos clientes, requisitos do sistema produto, processo ou serviço; Requisitos legais; Informações históricas de falhas e fiabilidade; Informações em relação à importância relativa de cada uma das funções; Dados actuais de falhas ou modificações nos sistemas, produtos, processo ou serviços;	Requisitos (especificações) do produto e processo; Informações sobre tecnologia e recursos disponíveis para controlo do processo;	Detecção de um problema; Informações históricas;	Observações do processo; Limites de especificação do processo;	Plano de Controlo
Objectivo	Descrever modos de falha, efeitos, causas, meios de prevenção e detecção; Classificar a severidade, ocorrência e detecção de modos de falha e as suas causas; Definir acções que minimizem ou eliminem os riscos de falhas;	Definição dos meios, métodos, frequências e amostragem de controlo; Definição do plano reacção;	Definir acções imediatas; Definir a causa; Definir acções correctivas e comprovar a eficácia; Estender a solução a outros processos;	Avaliação da estabilidade, tendências e padrões de comportamento do processo; Avaliação da capacidade do processo;	Comparação com as especificações;
Saídas	Dar prioridade aos modos de falha conforme o risco ao cliente; Acções de prevenção e detenção de modos de falha;	Documento do Plano de Controlo (PQP)	Acções de contenção; Acções correctivas; Acções preventivas da recorrência;	Informações sobre estabilidade do processo; Índices de capacidade do processo; Informações sobre as causas especiais;	Disposição do produto (aprovado reprovado.); Solicitação de acções correctivas/preventivas;
Interacção com a FMEA		Todas as informações do plano de controlo são necessárias à execução da FMEA do processo; Garante a revisão da FMEA em função de alterações no PQP e vice-versa;	Garante a actualização da FMEA em função de dados actuais de falhas e modificações; A definição de um método para as soluções das falhas identificadas na FMEA evita diversos problemas: Recorrência da falha devido a acções ineficazes ou não identificação da causa real; A solução não é estendida a processos semelhantes e não é garantida a longo-prazo;	Deve ser efectuada a revisão sistemática das ocorrências de causa na FMEA em função dos resultados do SPC; Esta interacção permite a actualização da FMEA e a sua actualização como "documento vivo" agregando valor durante toda a vida do produto; Facilita a comparação de resultados obtidos nas inspecções com ocorrência prevista para as causas relacionadas ao modo de falha, retro - alimentando a FMEA;	Toda a informação gerada nas inspecções e auditorias são utilizadas como entradas na FMEA; Estas informações são ainda fundamentais para a avaliação de probabilidade de ocorrência de uma determinada causa;

	FTA	Diagrama causa – efeito	Brainstorming/Brainwriting	QFD	Fluxograma
Entradas	Percepção ou previsão de uma falha;	Problema (efeito); Causas potenciais;	Problema (efeito);	Expectativas do cliente (necessidades); Experiências de produtos similares; Padrões de tecnologia disponíveis;	Fluxo do processo; Definição da simbologia que vamos utilizar para representar;
Objectivo	Identificação das causas primárias das falhas; Elaboração de uma relação lógica entre falhas primárias e falha final do produto;	Visualizar de uma forma simples todas as causas potenciais relativas á constatação de um efeito; Indicar o relacionamento de cada causa e sub causa;	Recolha de ideias orientadas para a resolução do problema do grupo; Permitir que as pessoas expressem as suas ideias sem serem criticadas ou julgadas;	Definir níveis de importância para necessidades; Correlacionar necessidade com requisitos de qualidade; Prioridade requisitos; Alinhar toda a organização;	Permitir representar ao pormenor todos os passos de um processo e a sua respectiva sequência;
Saídas	Representação gráfica de uma análise pormenorizada, apenas de um evento; Análise quantitativa; Técnica Top-Down;	Ideias de melhoramento ou estratégias para investigações posteriores; Informações a respeito das causas de um problema;	Criação de ideias inovadoras;	Dar prioridade aos requisitos do cliente; Dar prioridade aos requisitos do produto; Dar prioridade aos requisitos do processo; Dar prioridade aos requisitos do controlo do processo;	Fluxograma do processo, que representa de forma resumida o processo;
Interacção com a FMEA	Mostra o relacionamento hierárquico entre os modos de falha identificados na FMEA; Possibilidade de mensurar a intensidade da relação causa x efeito entre os modos de falha da árvore;	Facilita a organização e visualização das causas; Permite estabelecer um processo metódico de análise que ajuda a assegurar o não esquecimento de nenhuma das causas;	Utilizado para encontrar mais rapidamente soluções para a resolução de problemas levantados na FMEA; A equipa necessária para estas técnicas têm as mesmas características, logo é propício a utilização destas técnicas na FMEA; Ambas são técnicas de prevenção e resolução de problemas;	Metodologia preventiva, sugerindo a probabilidade de sucesso ou de falha; Permite identificar as mudanças necessárias antes de o produto ser concebido; Facilita a identificação do relacionamento entre os diferentes problemas; Utilizar as saídas da QFD como entradas na FMEA, de forma a garantir a satisfação dos requisitos por parte dos clientes; Utilização de uma tabela de severidade única pelos dois métodos, vai permitir a simplificação da análise; A severidade torna-se assim um reflexo mais fiel das expectativas do cliente;	A utilização do fluxograma na FMEA aumenta o entendimento do processo; Ajuda a equipa a identificar potenciais modos de falha, efeitos e soluções; Conseguimos seguir o fluxo do processo e elaborar a FMEA de acordo com a correcta sequência do processo;

